

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Mechatronické systémy

**Aplikace dvoupolohové regulace  
s využitím**

**řídící desky Arduino**

**Application of Two Position Control  
with the Arduino Control Board Usage**

Student:

Mateusz Łuński

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Ostrava 2019

# Zadání bakalářské práce

Student: **Mateusz Łuński**  
Studijní program: **B3943 Mechatronika**  
Studijní obor: **3906R006 Mechatronické systémy**  
Téma: **Aplikace dvoupolohové regulace s využitím řídicí desky Arduino**  
**Application of Two Position Control with the Arduino Control Board**  
**Usage**  
Jazyk vypracování: **čeština**

## Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor současného řešení zařízení pro leptání desek plošných spojů (DPS).
2. Seznamte se s vývojovými deskami Arduino a vyberte vhodnou desku pro řízení leptacího zařízení. Prostudujte možnosti topných těles pro ohřívání leptací kapaliny v závislosti na použitém materiálu pouzdra tělesa.
3. Navrhněte a realizujte laboratorní zařízení pro leptání desek plošných spojů. Popište jednotlivé části tohoto zařízení.
4. Navrhněte el. obvody pro úpravu signálů a připojení řídicí desky Arduino. Vytvořte řídicí algoritmus pro dvoupolohovou regulaci teploty leptací kapaliny, včetně ovládání vřecí kapaliny a ovládacího panelu.
5. Ověřte funkčnost leptacího zařízení, včetně všech navržených obvodů, zhodnoťte dosažené výsledky a jejich využití v praxi.

## Seznam doporučené odborné literatury:

KERNIGHAN, Brian W a Dennis M RITCHIE, 2006. Programovací jazyk C. Brno: Computer Press. ISBN 80-251-0897-x.  
KRAČMAR, Stanislav a Jiří VOGEL, 2002. Programovací jazyk C. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 80-01-02581-0.  
NOSKIEVIČ, Petr, 1999. Modelování a identifikace systémů. Ostrava: Montanex. ISBN 80-7225-030-2.  
SELECKÝ, Matúš, 2016. Arduino: uživatelská příručka. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4840-2.  
ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ, 1999. PLC a automatizace. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 8086056589.  
VODA, Zbyšek, 2015. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž. ISBN 978-80-87106-90-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



*Renata Wagnerová*

doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.  
vedoucí katedry

*Zdeňka Chmelíková*

Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.  
prorektorka pro studium

### MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že...

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne .....

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Mateusz Łuński

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jahodová 612

739 92 Návší

### Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a konzultace při zpracování této práce a taky panu Vladimíru Starému za odbornou pomoc při sestavování zařízení.

## Anotace

Łuński, M. *Aplikace dvoupolohové regulace s využitím řídicí desky Arduino: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, 2019, 49 s. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a posléze zhotovením leptacího zařízení pro výrobu desek plošných spojů. Leptací zařízení je vybaveno teplotním senzorem, odvětrávacím ventilátorem, vzduchovacím motorkem a topným tělesem. O řízení těchto komponent se stará řídicí systém založený na vývojové desce Arduino Nano. V práci je uveden popis celého navrženého zařízení, jednotlivých použitých komponentů, včetně desky plošných spojů pro připojení ovládacích prvků.

Klíčová slova: deska plošných spojů, Arduino IDE, MOSFET, topné těleso, teplotní senzor, dvoupolohová regulace, plexisklo.

## Annotation

Łuński, M. *Application of Two Position Control with the Arduino Control Board Usage: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, University study programs, 2019, 49 p. Thesis head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the design and then the manufacture of an etching device producing printed circuit boards. The etching device is equipped with a temperature sensor, exhaust fan, air pump and heater. The management of these components is controlled by the Arduino Nano development board. In the work, there is a description of the designed device and its individual elements including a printed circuit board for connection of control elements.

Keywords: printed circuit board, Arduino IDE, MOSFET, heater, temperature sensor, two position control, plexiglass.

## Obsah

<b>1</b>	<b>VÝROBA DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ .....</b>	<b>12</b>
1.1	Návrh DPS.....	12
1.2	Osvícení DPS a příprava k leptání.....	12
1.3	Leptání desky .....	13
1.4	Chlorid železitý.....	13
1.5	Současná řešení zařízení pro leptání DPS .....	14
1.5.1	Sprejové leptací zařízení .....	14
1.5.2	Zařízení pro leptání ponořené desky .....	15
<b>2</b>	<b>MOŽNOSTI TOPNÝCH TĚLES PRO OHŘÍVÁNÍ LEPTACÍ KAPALINY.16</b>	
2.1	Vhodné materiály pro topná tělesa.....	16
2.2	Výpočet potřebného výkonu k ohřátí kapaliny .....	16
2.3	Realizace topného tělesa .....	17
<b>3</b>	<b>NÁVRH LABORATORNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO LEPTÁNÍ DPS .....</b>	<b>18</b>
3.1	Materiál pro výrobu zařízení .....	18
3.1.1	Vlastnosti PMMA .....	18
3.1.2	Výběr vhodné PMMA desky .....	19
3.2	Laboratorní zařízení pro leptání desek plošných spojů .....	19
3.2.1	Hlavní nádoba .....	20
3.2.2	Držák topného tělesa a probublávání .....	21
3.2.3	Držák DPS .....	22
3.2.4	Víko .....	22
3.2.5	Výfuk .....	23
<b>4</b>	<b>NÁVRH A REALIZACE MĚŘICÍHO A ŘÍDICÍHO SYSTÉMU .....</b>	<b>24</b>
4.1	Vývojové desky Arduino .....	24
4.1.1	Programování vývojových desek Arduino .....	25
4.1.2	Arduino IDE .....	26
4.2	Návrh měřicího systému .....	27
4.2.1	Výběr senzoru .....	28
4.2.2	Komunikace teploměru s Arduinem .....	29

4.2.3	Komunikace Arduina s displejem přes převodník I2C .....	31
4.2.4	Nastavení zobrazení teploty na displeji .....	32
4.3	Návrh řídicího systému.....	32
<b>5</b>	<b>NÁVRH ELEKTRICKÉHO OBVODU PRO ÚPRAVU SIGNÁLŮ .....</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>SESTAVENÍ ZAŘÍZENÍ A EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ JEHO FUNKČNOSTI.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR .....</b>	<b>45</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>49</b>



## Seznam použitých jednotek

$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia – jednotka teploty
$\text{JK}^{-1}\text{g}^{-1}$	jednotka izobarického měrného tepla
$\text{kg}$	kilogram – jednotka hmotnosti
$\text{kg}/\text{m}^3$	jednotka hustoty
$\text{m}^3$	metr krychlový – jednotka objemu
$\text{s}$	sekunda – jednotka času
$\text{V}$	volt – jednotka elektrického napětí
$\text{W}$	watt – jednotka výkonu
$\Omega$	ohm – jednotka elektrického odporu

## Seznam použitých symbolů

$c_p$	izobarické měrné teplo
$I$	elektrický proud
$m$	hmotnost
$P$	výkon
$R$	elektrický odpor
$R_{ds}$	impedance tranzistoru při sepnutí
$t$	čas
$T$	teplota

$T_m$	teplota, při které se PMMA vrátí do původního stavu (kolem 100 °C)
$U$	elektrické napětí
$V$	objem
$\Delta Q$	diferenciál tepla
$\Delta t$	diferenciál času
$\Delta T$	diferenciál teploty
$\rho$	hustota

### **Seznam použitých zkratk**

DPS	deska plošných spojů
I2C	multi-masterová počítačová sériová sběrnice
LCD	displej z tekutých krystalů (anglicky liquid crystal display)
MOSFET	typ unipolárního tranzistoru
PMMA	polymethylmethakrylát, jinak plexisklo nebo akrylátové sklo

## Úvod

Dnešní doba vyžaduje kvalitní, ale především co nejmenší elektronické součástky. Každé elektrické zařízení obsahuje desku plošných spojů, z čehož vyplývá potřeba proces výroby těchto desek urychlit. V malosériové výrobě, domácím kutilství a vývojových dílnách se využívá technologie chemického leptání. Je to nejjednodušší metoda pro výrobu přesného plošného spoje s dlouhou životností.

Cílem práce je navrhnout zařízení pro chemické leptání DPS s dvoupolohovou regulací teploty. K řízení celého procesu bude využita vývojová deska Arduino. Při návrhu zařízení se bude uvažovat o odolnosti vůči leptacímu roztoku a kompletně rozebíratelné konstrukci celého zařízení. Pro snadnou manipulaci je nutno použít napojení na vhodné konektory. Pro nastavování jednotlivých uživatelských parametrů bude mít operátor k dispozici ovládací panel s grafickým displejem a tlačítky. V ovládacím panelu se bude nacházet deska plošných spojů se všemi elektronickými komponenty. Požadavkem na zajištění bezpečnosti je možnost ukončit v libovolném okamžiku proces leptání.

# 1 Výroba desek plošných spojů

Plošný spoj, přesněji deska plošných spojů (zkráceně DPS, v angličtině PCB – Printed Circuit Board), je v elektronice deska určená k osazení elektronických součástek, které propojují vodiče vytvořené v tenké (ploché) kovové vrstvičce na povrchu desky. Plošné spoje se využívají pro realizaci elektronických obvodů a nacházejí se prakticky ve všech složitějších elektronických zařízeních (1).

## 1.1 Návrh DPS

Prvním krokem pro výrobu DPS je samotný návrh elektrického obvodu. Nejprve se vytvoří schéma zapojení, ze kterého se vygeneruje seznam spojů (*netlist*). Dále se pomocí funkce *autorouter* může na základě tohoto *netlistu* vytvořit předlohu pro výrobu DPS. K návrhu DPS se zpravidla používají specializované softwary např.: Altium Designer, OrCAD, KiCad, Eagle, a jiné. Výstupem těchto programů je soubor pro tisk předlohy DPS.

## 1.2 Osvícení DPS a příprava k leptání

K tisku předlohy DPS je doporučeno použít speciální laserovou tiskárnu. Pro amatérské využití je možnou použít obyčejnou laserovou, případně inkoustovou tiskárnu, ale jejich nevýhodou jsou nepřesné okraje vytištěné předlohy (u levnějších inkoustových tiskáren dokonce hrozí přerušování natištěného obrázku). Předloha se tiskne na průhledný, pauzovací papír.

Dalším krokem je příprava desky k odleptání přebytečné mědi. Z většího kusu *kuprexitu* (laminátová deska s mědí) se odřízne (buď ručně odlamovacím nožem nebo pomocí jiného nástroje – např. padací nůžky) požadovaná velikost desky, která musí být větší aspoň o 5 mm z každé strany. Potom se z desky odstraní ochranná folie a přiloží se na ní předloha.

Deska s přiloženou předlohou je osvícena UV světlem po vhodnou dobu (cca. 2 minuty). K osvětlování je doporučeno použít speciální osvětlovací přístroj, který umožňuje nastavit dobu osvětlení. V amatérském využití lze použít speciální UV žárovku nebo výkonnou halogenovou lampu. V místech, kde je papír potištěn, nedojde k narušení fotovoltaické vrstvy, čehož se využije v dalším kroku.

Po osvětlení je nutno desku ošetřit roztokem NaOH (hydroxid sodný, slouží jako vývojka), čímž je deska připravena k leptání.

### 1.3 Leptání desky

Takto připravenou desku je možno vložit do leptacího roztoku. K leptání pomocí fotolitografické techniky se zpravidla používá 40 % roztok  $\text{FeCl}_3$ . Jinými leptacími roztoky jsou: roztok na leptání mědi z persíranu sodného ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), roztok dvou dílů peroxidu vodíku (možno koupit v lékárně – koncentrace 5 %) a jednoho dílu kyseliny chlorovodíkové (33 % koncentrace – z drogerie). Je nutno pamatovat, že leptací roztoky jsou agresivní vůči většině kovů, a k návrhu je nutno použít nekovové součásti. K urychlení procesu leptání je vhodné leptací roztok zahřát na teplotu asi 45-55 °C (1).

Způsoby, jak urychlit proces leptání, se budu zabývat v dalších kapitolách.

### 1.4 Chlorid železitý

Chlorid železitý (chemický vzorec  $\text{FeCl}_3$ ) je světle hnědá hygroskopická anorganická sloučenina, která se za působení vzdušné vlhkosti samovolně roztéká. Roztok  $\text{FeCl}_3$  se používá jako leptadlo při výrobě plošných spojů (rozpuští nechráněnou vrstvu kovové mědi). Vedle toho se používá jako vložkovací přísada při čištění odpadních vod a také se z něj vyrábí barviva. Jeho vlastnosti jsou popsány v tab. 1.1 (2).

Tab. 1.1 Vlastnosti chloridu železitého (2)

Hustota	
hexahydrát	1,82 g/cm <sup>3</sup>
14 % roztok	1,228 g/cm <sup>3</sup>
40 % roztok	1,4 g/cm <sup>3</sup>
Izobarické měrné teplo	
0,590 JK <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	

## 1.5 Současná řešení zařízení pro leptání DPS

Při amatérské výrobě DPS není nutno desku leptat ve specializovaném zařízení. Stačí desku osušit (aby bylo zachované povrchové napětí) a opatrně položit stranou mědi na hladinu leptacího roztoku. Díky tomu, že deska plave na hladině, může měď opadávat. Je to velice jednoduchá metoda, byť náročnější na čas (kolem 25 minut).

Ve velkosériové výrobě hraje čas výroby důležitou roli, a proto jsou k dispozici specializovaná zařízení. Jejich úkolem je zrychlit chemický proces – je toho dosaženo ohřátím leptacího roztoku na teplotu 40–45°C. Druhým úkolem leptacích zařízení je urychlit mechanické odpadávání mědi – toho je možno dosáhnout různými způsoby. Nejpoužívanějším způsobem je nanášet proud ohřáté kapaliny ve formě aerosolu na desku. Druhým způsobem je desku ponořit do kapaliny a probublávat ji vzduchovými bublinami. Kromě toho existují i jiné metody, ale tyto dvě jsou nejpoužívanější (3), (4).

### 1.5.1 Sprejové leptací zařízení

První metodou je nanášení leptacího roztoku ve formě aerosolu. Je to řešení vhodné především pro velkovýrobní linky, kde je rychlost výroby na prvním místě. Nevýhodou těchto strojů je vyšší cena, dražší údržba, popř. nutnost návrhu trysek pro sprejování. Největší výhodou strojů se sprejováním je velká rychlost, malé ztráty leptacího roztoku, není nutno zavádět další zařízení pro urychlení odpadávání mědi. Přístroje se sprejovým postřikem jsou často součástí kompletních strojů pro výrobu DPS – tj. část pro osvětlení, část pro odleptání, část pro opláchnutí vodou od zbytků leptacího roztoku. Cena těchto přístrojů se pohybuje v rozmezí 1 000 – 8 000 USD. Příkladem takového řešení je sprejový leptací přístroj SUNY-ZFS300 firmy Changsha Suny Electronic Technology Limited (5).



Obr. 1.1 Sprejový leptací přístroj SUNY-ZFS300 (5)

### 1.5.2 Zařízení pro leptání ponořené desky

Druhou metodou, která je častěji používána v malosériové výrobě je prosté ponoření DPS do roztoku. V amatérském použití k tomu stačí miska s leptací kapalinou. Jedná se o účinnou a postačující metodu, byť je náročnější na čas.



Obr. 1.2 PCB Etching Kit System ET20 firmy Circuit Specialists (6)

Ve větším nasazení je vhodné použít systém víření kapaliny bublinami vzduchu k urychlení opadávání mědi a systém ohřívání kapaliny. Výhodou této metody je jednoduchost provedení. Nevýhodou je větší spotřeba leptacího roztoku, menší účinnost, nutnost zavádět dodatečný systém víření. Pro stroje používané v amatérském sektoru je cena kolem 80–300 USD. Profesionální stroje toto řešení příliš často nepoužívají, zpravidla se používá jen ve vývojových laboratořích. Příkladem takového řešení je leptací přístroj PCB Etching Kit System ET20 firmy Circuit Specialists (6).

## 2 Možnosti topných těles pro ohřívání leptací kapaliny

Jak už bylo zmíněno, k leptání se bude používat roztok chloridu železitého. Jelikož je tento roztok agresivní vůči všem kovům, je nutno, aby všechny součásti v návrhu byly nekovové. Požadavkem je použití bezpečného napětí – tj. maximálně 50 V.

### 2.1 Vhodné materiály pro topná tělesa

Jelikož není možno použít kovová topná tělesa je nutno promyslet jaký materiál je vhodný pro tuto aplikaci. Teoreticky se nabízejí dvě možnosti.

První možností je vytvoření dvoustěnné nádoby. Uprostřed pláště by se mohla ohřívat voda pomocí kovových např. mosazných topných těles. Problém by nastával při volbě materiálu tělesa leptací nádoby. Obecně platí, že plasty jsou špatnými vodiči tepla, proto by se jejich případné nasazení komplikovalo. Jiným východiskem by bylo použití nádoby ze skla. Pro takovou volbu by ale hrozilo větší riziko rozbití.

Druhou možností je použití topného tělesa z materiálu, který je odolný vůči leptacímu roztoku. Tehdy by se mohlo jednoduše nádobu na leptací roztok udělat z plastu. Z materiálů, ze kterých se vyrábí topná tělesa, přicházejí v úvahu pouze keramika a sklo. U keramiky je výhodou větší odolnost vůči rozbití, nevýhodou je vyšší cena. Skleněné ohřívače se často používají v akvarijní technice, a tak je jejich cena nižší. Nevýhodou skleněných topných těles je již výše zmíněná křehkost. Jednoduchou, ale účinnou možností je použít topné těleso z odporového drátu navinutého na keramickém valečku a umístěného ve skleněné zkumavce.

### 2.2 Výpočet potřebného výkonu k ohřátí kapaliny

Objem kapaliny v kádince  $V$  je (viz kapitola 3.2.1)

$$V = v \cdot \check{s} \cdot h = 250 \cdot 50 \cdot 200 = 2\,500\,000 \text{ mm}^3 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

kde je  $v$  – vnitřní výška,  $\check{s}$  – vnitřní šířka,  $h$  – vnitřní hloubka nádoby. Nádoba je malinko větší, než je požadavek (minimální objem  $2 \text{ dm}^3$ ) - předpokládá se, že nebude úplně plná, tzn. bude naplněna cca 5 cm pod okraj, tak aby po vložení všech součástí nedošlo k vylití kapaliny.

Hmotnost kapaliny  $m$  je

$$m = V \cdot \rho = 0,0025 \cdot 1\,400 = 3,5 \text{ kg}$$

kde je  $V$  – objem roztoku v  $\text{m}^3$  a  $\rho$  - hustota 40 % leptacího roztoku v  $\text{kg/m}^3$ .



Teplu potřebné na zahřátí kapaliny z teploty 20 °C na 60 °C  $\Delta Q$  je

$$\Delta Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 3\,500 \cdot 0,590 \cdot 40 = 82\,600 \text{ J}$$

kde je  $m$  – hmotnost roztoku v g,  $c_p$  – izobarické měrné teplo 40 % leptacího roztoku v  $\text{JK}^{-1}\text{g}^{-1}$ ,  $\Delta T$  - diferenciál teploty

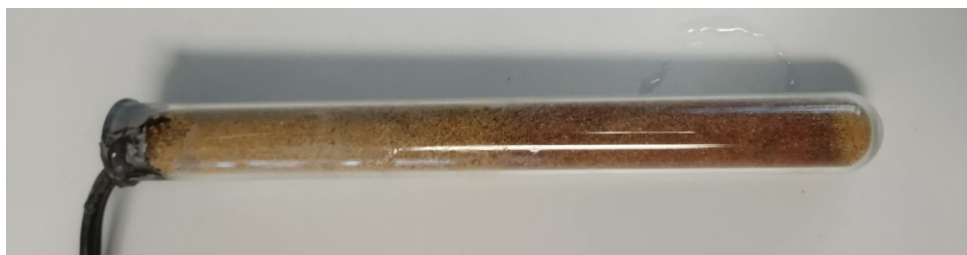
Výkon potřebný k dosažení teploty 60 °C za čas 600 s je

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{82\,600}{600} = 137,6 \text{ W}$$

kde je  $\Delta Q$  – teplo potřebné k dosažení teploty v J,  $\Delta t$  – čas zahřívání s.

## 2.3 Realizace topného tělesa

Topné těleso je realizováno pomocí odporového drátu navinutého na keramický váleček umístěný ve skleněné zkumavce naplněné pískem. Na keramický váleček byla nanесena vrstva kamnářského tmelu (je vhodný proto, že může odolávat teplotám až 1200 °C), do které byl navinutý odporový drát. Po uschnutí tmelu proto už nedochází k pohybu odporového drátu a nehrozí nebezpečí zkratu. Ve zkumavce je písek pro akumulaci tepla (aby odporový drát nehřál “naprázdno”). K zamezení přístupu leptacího roztoku do skleněné zkumavky je její konec zatmelen kamnářským tmelem. Na tmel je dodatečně nanесená tenká vrstva pružného lepidla pro izolaci proti vodě (navzdory úplnému vytvrzení by přes tmel mohla prosakovat voda). Konečná podoba topného tělesa je zobrazená na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Konečná podoba topného tělesa

Teoretický elektrický výkon topného tělesa je

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{48^2}{6} = 384 \text{ W}$$

kde je  $U$  – elektrické napětí ve V,  $R$  – elektrický odpor topného odporového drátu v  $\Omega$  a  $P$  - elektrický výkon topného tělesa ve W.

Reálný výkon topného tělesa je menší z důvodu ztrát ve vedení a akumulace tepla v písku. Pro potřeby leptacího zařízení je výkon dostačující.

### 3 Návrh laboratorního zařízení pro leptání DPS

Laboratorní zařízení pro leptání DPS bude splňovat následující požadavky:

- Objem alespoň 2 l leptacího roztoku  $\text{FeCl}_3$ ,
- odolnost vůči leptacímu roztoku  $\text{FeCl}_3$ , tj. konstrukce z nekovových materiálů,
- voděodolnost,
- odolnost vůči vyšší teplotě – předpokládaná teplota, na kterou se leptací roztok  $\text{FeCl}_3$  bude ohřívat je maximálně 60 °C, je však nutno předpokládat, že v těsné blízkosti topného tělesa bude teplota vyšší,
- vhodná tloušťka stěn nádoby pro optimální tepelnou izolaci k zamezení tepelných ztrát,
- kompletně rozebíratelnou konstrukci celého zařízení kvůli možnosti vyčištění od opadané mědi,
- připojení ovládání a napájení celé elektroniky pomocí vhodných konektorů.

Vhodnou, i když ne nutnou vlastností zařízení je průhlednost, sloužící k vizuální kontrole průběhu leptacího procesu.

#### 3.1 Materiál pro výrobu zařízení

Z materiálů pro výrobu zařízení není možné používat žádný kov ani kovovou slitinu z důvodu už dříve zmíněné nesnášenlivosti s leptacím roztokem  $\text{FeCl}_3$  a taky z důvodu neprůhlednosti. Jinou možností je použít nádobu z tepelně odolného skla. Taková nádoba by byla těžší a především křehčí (zvláště při zahřátí). Skleněná nádoba by musela být z jednoho kusu skla, protože skleněné desky se velice těžce lepí. Nejjednodušší se však jeví použít plastovou lepenou konstrukci. K výběru se nabízí velké spektrum plastových polymerů, např.: polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS) polymethylmethakrylát (PMMA), polykarbonát a jiné.

Průhledné plasty vhodné pro dané použití jsou pouze polymethylmethakrylát a polykarbonát, přičemž má polymethylmethakrylát (běžně známý jako plexisklo, PMMA, nebo akrylátové sklo) značně lepší mechanické vlastnosti než polykarbonát.

##### 3.1.1 Vlastnosti PMMA

Základní vlastností PMMA je jeho bezbarvost a naprostá čírost. Díky tomu je dokonale průhledný a lze jej jednoduše barvit. Odolností vůči běžnému opotřebení předčí vlastnosti PMMA všechny běžné termoplasty. PMMA je při teplotě 130-140 °C lehce tvarovatelný (čímž je vhodný pro výrobu složitých součástí). Má rovněž i vynikající tvarovou paměť,

projevující se vrácením tvarované desky do původního tvaru ohřátím na  $T_m$ . Propustnost světla je u PMMA asi 92 %. PMMA má dobré elektroizolační a mechanické vlastnosti, odolává vodě a kyselinám. Tepelná odolnost PMMA bez zatížení je kolem 80°C. Výhodou je PMMA snadné spojování desek lepením. PMMA se používá jako náhražka skla, jinou možností PMMA je polykarbonát, který však není tak odolný na opotřebení. Výhodami PMMA v porovnání se sklem jsou menší výrobní náklady, snadná možnost ohýbání, malá hmotnost, lepší tepelná izolace a větší odolnost vůči nárazům. Nevýhodou oproti sklu je nižší tvrdost (v jejímž důsledku dochází snadněji k jeho poškrábání) a menší chemická odolnost (7).

Výhodou desek z PMMA je také jednoduché obrábění. Desky je možno řezat pilou, vrtat pomocí běžných vrtáků, tvarovat a ohýbat za tepla, lepit pomocí lepidel ACRIFIX a leštit na povrchu nebo na hranách (8).

Z důvodu vhodných mechanických vlastností a odolnosti slabším roztokům kyselin se PMMA jeví jako nejlepší volba pro návrh leptacího zařízení.

### 3.1.2 Výběr vhodné PMMA desky

Pro leptací zařízení je nutno zvolit vhodnou tloušťku desky, aby zařízení bylo dostatečně tepelně izolované (aby nedocházelo k tepelným ztrátám) a aby bylo dostatečně mechanicky pevné.

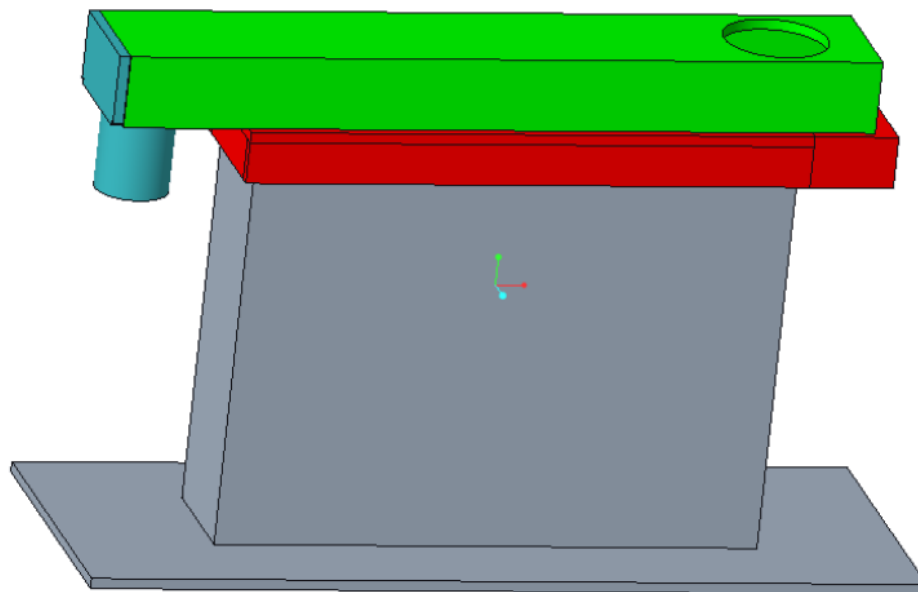
Desky z plexiskla se standartně vyrábí ve dvou provedeních – extrudované a lité, kromě toho mnoho variant podle druhu barvy, stupňů transparentnosti (čiré, antireflexní, světlo vodivé atd.), povrchových úprav (leštěné, pískované, se zvýšenou odolností proti poškrábání atd.) a struktur. Desky se standartně vyrábí v tloušťkách od 2 mm až do 25 mm. Pro tloušťky 30 mm a vyšší (až 400 mm) se produkt označuje jako blok.

Pro potřeby leptacího zařízení je naprosto postačující čiré, extrudované (a proto nejlevnější) plexisklo o tloušťce 5 mm. Tepelná vodivost je podle normy DIN 52612 0,18 W/m.K (8).

## 3.2 Laboratorní zařízení pro leptání desek plošných spojů

Laboratorní zařízení se bude skládat z následujících částí: hlavní nádoba, rámeček s topným tělesem, děrované víko pro zastrčení sponek na uchycení DPS, nasunuté horní víko a poslední část obsahující výfuk pro odvětrávání. Všechny části zařízení byly navrženy pro výrobu z PMMA desek o tloušťce 5 mm. Návrh sestaveného zařízení je na obr. 3.1. Zařízení bylo navrženo v programu Creo Parametric 4.0 M030

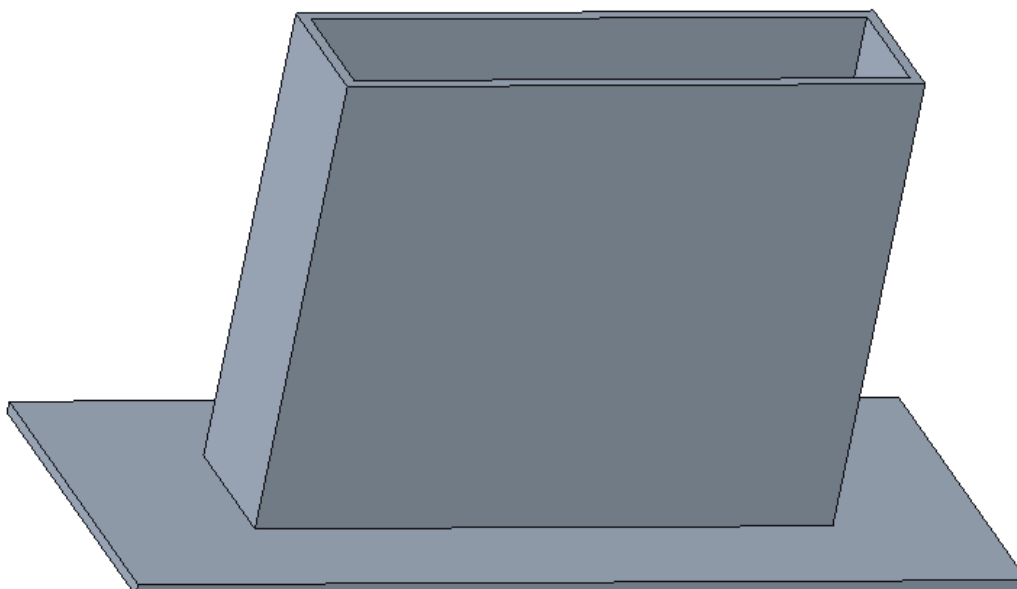
Sestavení celého zařízení je podrobně popsáno včetně obrázků v příloze 1.



Obr. 3.1 Laboratorní zařízení pro leptání desek plošných spojů

### 3.2.1 Hlavní nádoba

Hlavní nádoba je zobrazena na obrázku 3.2. V plné nádobě je kolem 2 l leptacího roztoku. Vnitřní rozměry nádoby jsou 50x250x200 mm. Zespoda je nádoba připevněna k desce o rozměrech 150x400 mm pro větší stabilitu.



Obr. 3.2 Hlavní nádoba

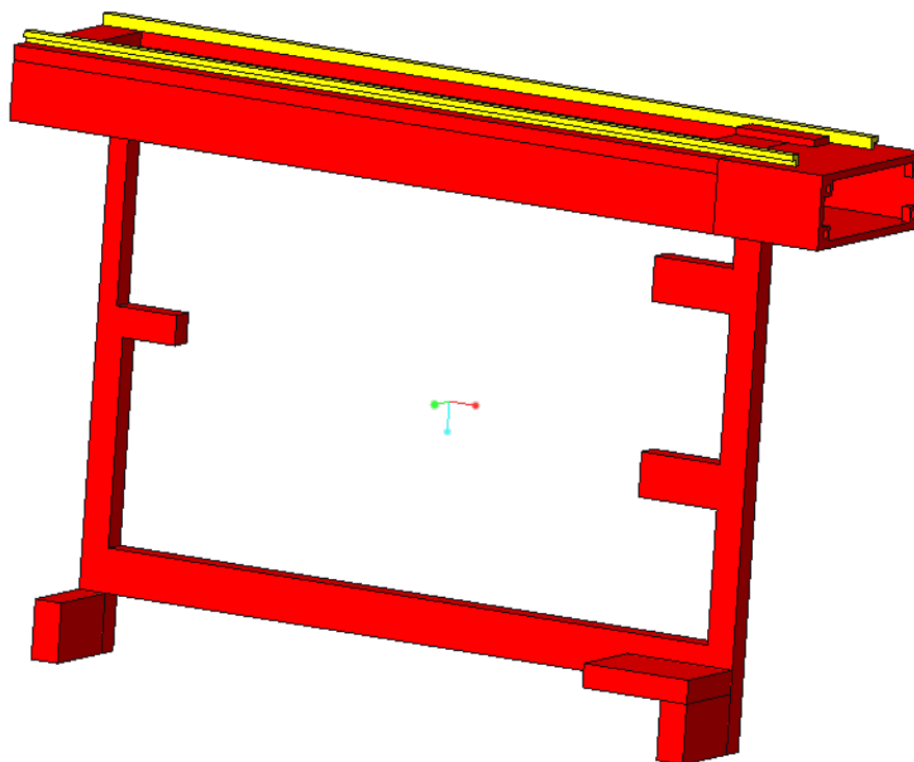
### 3.2.2 Držák topného tělesa a probublávání

Do hlavní nádoby je zasunutý dílec, ve kterém je umístěno topné těleso, teploměr a veškerá kabeláž. Na ten se nasadí seshora držák DPS (viz bod 3.2.3) a z boku je nasunuto horní víko k zamezení šíření par, které vznikají při ohřívání kapaliny (viz bod 3.2.4)

U dna je vzduchovací kámen napájený ze zdroje vzduchu (akvaristický vzduchovací motorek) sloužící k probublávání roztoku pro lepší opadávání mědi. Na pravé straně je připevněný teplotní snímač DS18B20.

Topné těleso musí být umístěno v takové pozici, aby se teplo mohlo samovolně šířit v celém roztoku. Teoreticky jsou možná 2 řešení. Prvním řešením by bylo umístit těleso horizontálně u dna nádoby. Jasnou výhodou tohoto řešení by byl lepší prostup tepla v leptacím roztoku díky oplachování proudem vzduchu. Nevýhodou je potřeba lepšího utěsnění tělesa a přílišné plýtvání energií kvůli ochlazování tělesa proudem vzduchu, a proto se to řešení nepoužilo. Druhou možností je umístit topné těleso vertikálně. Výhodou tohoto řešení je jednodušší utěsnění topného tělesa (hrdlo zkumavky může být nad hladinou roztoku). Držák topného tělesa je zobrazen na obr. 3.3

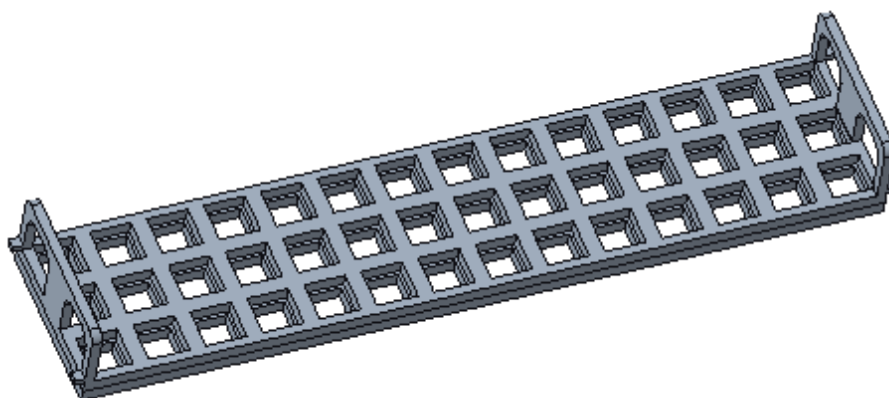
Ze zařízení je vyvedeno napájení topného tělesa (na silový konektor) a hadice ze vzduchovacího kamenu. Pro teploměr je v zařízení umístěny 3pinový jack konektor 3,5mm.



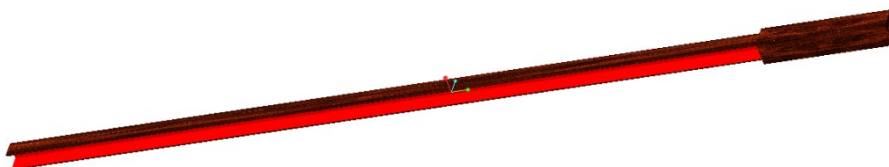
Obr. 3.3 Držák topného tělesa

### 3.2.3 Držák DPS

Držák DPS se skládá z více částí. Prvním je víko, ve kterém jsou 3 řady po 14 dírách (obr. 3.4). V nich jsou vsunuty spony, do kterých se nasazují DPS připravené k leptání (obr. 3.5). Horní strana spony bude opřena zasunutím horního víka, čímž se úplně zafixuje poloha desky. Toto řešení bylo vybráno proto, aby se dosáhla maximální variabilita a možnost leptat více desek najednou. Jinou možností by bylo zavěšovat DPS do leptacího roztoku na háčky. Jasnou nevýhodou toho řešení by byla nemožnost fixovat DPS, což by mohlo mít za účinek zbytečné vzájemné odírání desek při pohybu desek v nádobě.



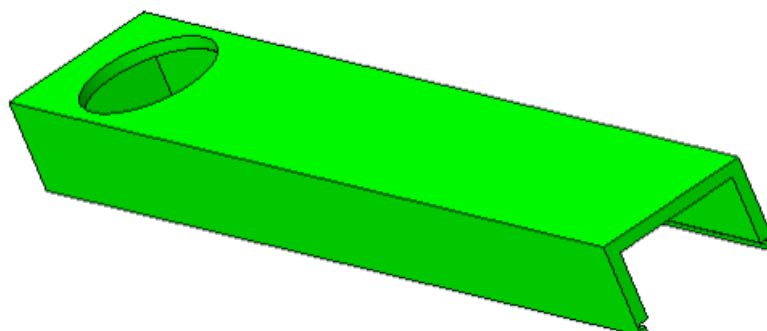
Obr. 3.4 Děrované víko pro fixaci DPS



Obr. 3.5 Spona pro fixaci DPS

### 3.2.4 Víko

Na držák topného tělesa je nasunuto víko (obr. 3.6). Z přední strany není uzavřeno, protože tam bude nasazený dílec výfuk – viz bod 3.2.5. Funkci víka je fixace spon v kolmé poloze a

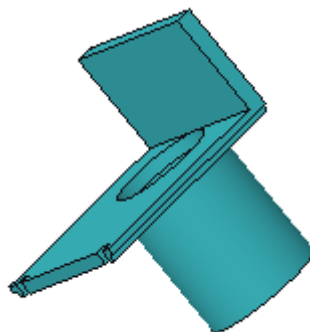


Obr. 3.6 Víko

odvětrávání prostoru, ve kterém se leptá. Na víku je připevněný ventilátor, jehož funkcí je vytlačovat páry, které vznikají při leptání. Pro odvádění par slouží dílec výfuk. Ventilátor je umístěný pro tlačení vzduchu, aby nedocházelo ke korozi jeho součástí.

### 3.2.5 Výfuk

Poslední částí zařízení je výfuk (obr. 3.7). Tato součást se nasazuje na drážku ve víku z druhé strany, než se nachází ventilátor. K součásti lze připojit hadici, aby bylo možno zplodiny vypouštět mimo prostor, ve kterém se pracuje – např. za okno.



Obr. 3.7 Výfuk

Sestavení celého zařízení je podrobně popsáno včetně obrázků v příloze 1.

## 4 Návrh a realizace měřicího a řídicího systému

Systém bude ohříváný pomocí topného tělesa. K přesné regulaci je nutno měřit teplotu. To bude uskutečněno pomocí teplotního senzoru DS18B20. Zpracovávat informace a řídit dvupolohově teplotu bude mikroprocesor Arduino. Ten bude připojený na LCD přes I2C převodník. Celý program je napsán v prostředí Arduino IDE. Z důvodu rozsahu práce je kompletní řídicí program stanice součástí přílohy elektronické formy práce. V této kapitole jsou pouze uvedeny jeho základní funkce a ukázka kódu.

### 4.1 Vývojové desky Arduino

Zadáním projektu je provádět dvupolohovou regulaci teploty. Ke dvupolohovému řízení teploty je možno použít celou škálu prostředků. Nejjednodušší je provádět regulaci přímo teplotním snímačem se zabudovanou regulací – tzv. termostatem. Nevýhodou těchto snímačů je komplikované nebo někdy i vůbec nemožné nastavení požadované teploty. Z toho důvodu je vhodné zvolit jiný řídicí prostředek. K výběru se nabízí množství programovatelných procesorů, např. Raspberry Pi, Arduino nebo Intel Edison. Jelikož v opakovaném použití je kladen důraz na jednoduchost a nízkou energetickou náročnost, jeví se Arduino jako ideální volba. Je to jednodeskový počítač založený na mikrokontrolérech ATmega od firmy Atmel. Nelze k němu přímo připojit monitor, klávesnici, myš ani jiné periferie, ale je stavěn pro připojení LED diod, LCD, servomotorů, senzorů, osvětlení atd. Je energeticky nenáročný (možnost napájení 9 V), jeho programování je založeno na open source platformě, což značně zjednodušuje vývoj software díky mnoha podobným projektům, kterými se může vývojář inspirovat. V rámci Arduina existuje mnoho typů desek (ať už originálních nebo tzv. klonů) pro různé druhy použití.

Nejrozšířenější deskou je Arduino Uno. Je k ní možné připojit množství modulů (anglicky *Arduino shield*) – například ethernetový modul, kapacitní dotykový modul, modul pro detekci kouře, GPRS/GSM modul, modul s joystickem, Wi-Fi/ Bluetooth modul, modul pro vzdálený přístup na SD kartu a jiné. Jejich výhodou je možnost připojení přímo na desku mikrokontroléru bez potřeby zapojovat modul do nepájivého pole pro ověřování funkčnosti.

Jistou odvozeninou Arduino Uno je Arduino Nano, které je nutno připojit k nepájivému poli při zkoušení a ověřování funkčnosti programu a zapojení. V konečném provedení se uvažuje osazení v DPS. Výhodou Arduino Nano jsou tedy především menší rozměry, čímž je vhodnější pro použití v embedded systémech. Z toho důvodu, že v konečném provedení bude úspora místa výhodná (uvažuje se umístění Arduina do DPS), nebude zapotřebí připojovat



dodatečné moduly a množství I/O pinů je postačující, je Arduino Nano nejvýhodnější volba. Jeho parametry jsou zobrazeny v Tab. 4.1 (9).

Tab. 4.1 Parametry Arduino Nano

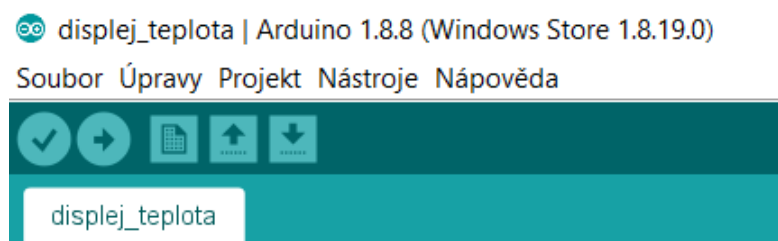
<b>ARDUINO NANO</b>	
Mikrokontrolér	ATmega328P (SMD)
Architektura	AVR
Provozní napětí	5 V DC
Flash paměť	32 kB, 2 kB použity pro bootloader
SRAM	2 kB
Taktovací frekvence	16 MHz
EEPROM	1 kB
I/O piny	22
Analogové I/O piny	8
Digitální I/O piny	14 (z toho 6 PWM výstupy)
Stejnoseměrný proud na pin	40 mA
Vstupní napětí (doporučené)	7 ÷ 12 V DC
Vstupní napětí (limitní)	6 ÷ 20 V DC
Odběr	19 mA
Rozměry	18 x 45 mm
Hmotnost	17.00 g

#### 4.1.1 Programování vývojových desek Arduino

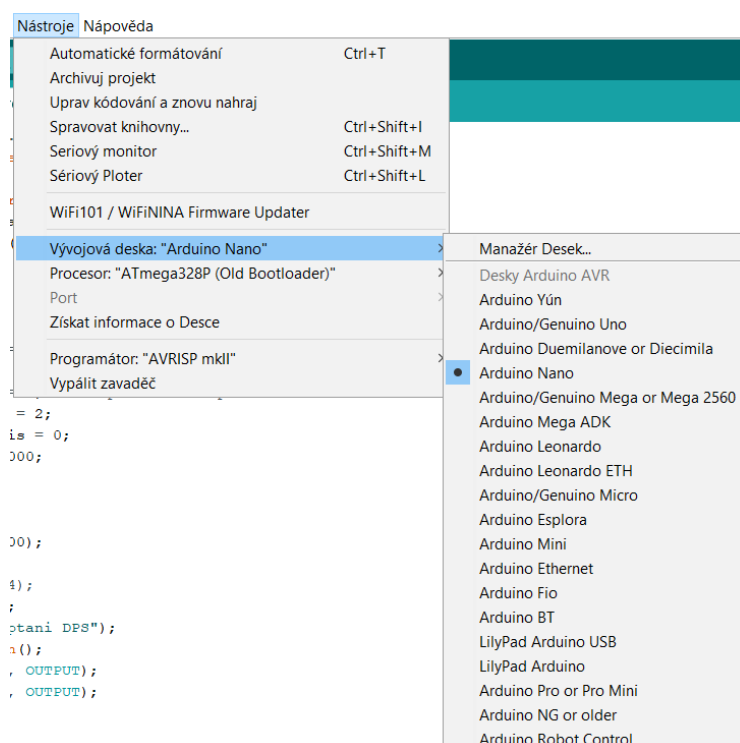
Arduino se může programovat v jazyce C nebo C++. Jednodušší je však použít knihovnu Wiring, která je aktuálně velmi rozšířená. Často se o ní však mluví jako o samostatném programovacím jazyku. Programovat desky Arduino lze pomocí různých vývojových prostředí jako jsou například: Atmel Studio, Arduino IDE nebo Visual Studio. Arduino IDE je vývojové prostředí vytvořené přímo pro desky Arduino.

## 4.1.2 Arduino IDE

Arduino IDE (anglicky Integrated Development Enviroment, integrované vývojové prostředí), napsané v jazyce Java, je software vzniklý z výukového prostředí Processing. Ten byl mírně upraven, byly přidány některé funkce, a hlavně podpora jazyka Wiring. Na obr. 4.1 je vidět vývojové prostředí. V první řadě si lze všimnout nabídky *Nástroje*, ve které je nabídka nastavení pro programování a připojení desky. V nabídce *Nástroje* se vybere ze seznamu položku *Vývojová deska* a dále se v seznamu desek zvolí používanou desku (obr. 4.2). V tomto případě tedy Arduino Nano. Dále se vybere COM port, na který je Arduino připojeno. Většinou je to jediný port v seznamu. Zjistit konkrétní COM port lze pomocí **Win+X** > *Správce zařízení* > *Porty*.



Obr. 4.1 Ovládací panel prostředí Arduino IDE



Obr. 4.2 Volba typu vývojové desky

V dalším řádku se nachází několik ikon (viz obrázek 4.1). První zleva je ikona s fajfkou – *Ověřit*. Ta po kliknutí spustí kontrolu a kompilaci kódu a pokud nalezne nějakou chybu, zvýrazní ji.

Další je ikona se šípkou doprava – *Nahrát*. Ta spustí kontrolu a kompilaci programu a pokud nenalezne žádnou chybu, nahraje program do připojeného Arduina.

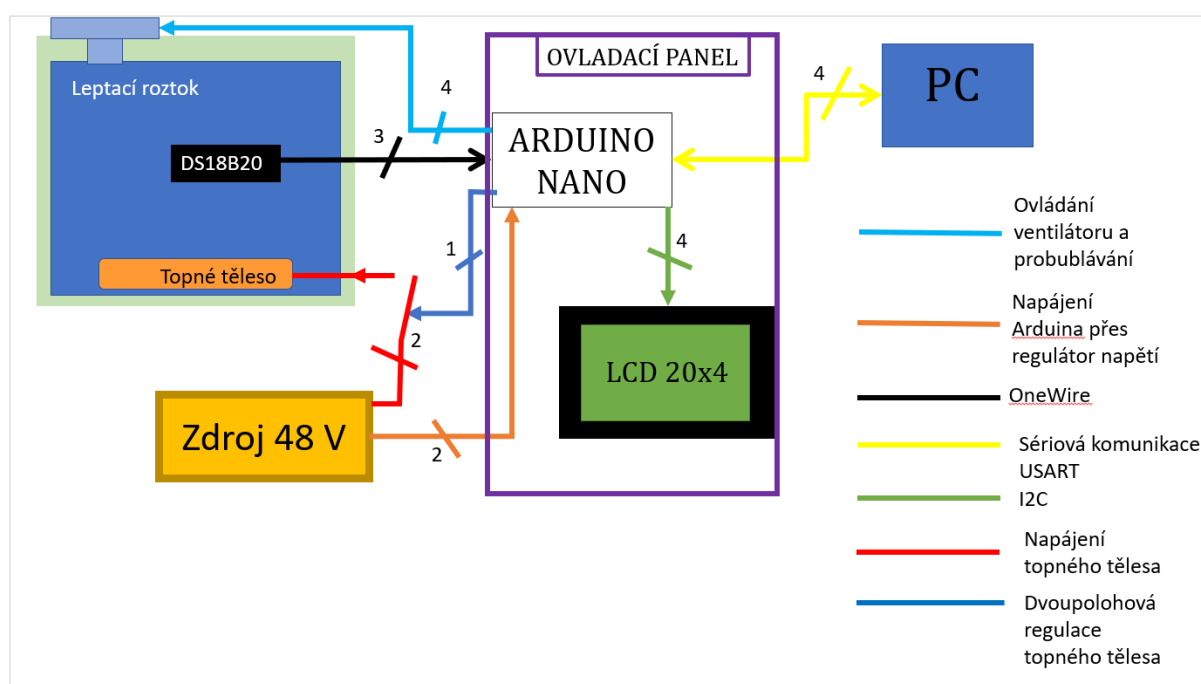
Další je ikona se symbolem přeloženého rohu stránky – *Nový*, která po kliknutí vytvoří nový soubor.

Tlačítka se šípkou nahoru a se šípkou dolů jsou tlačítka pro otevření nebo uložení programu. Z pravé strany řádku se nachází ikonu s lupou – *Sériový monitor*.

Důležitou součástí vývojového prostředí jsou uživatelské knihovny. Knihovny jsou připravené balíčky kódu, rozšiřující základní program o potřebnou funkčnost (např. možnosti ovládání nebo komunikace s určitým hardwarem, jako LCD, různé senzory a moduly). Pro použití knihovny se vybere nabídka *Projekt > Přidat knihovnu*. Na horní konec programu se tím vloží příkaz `#include <název_knihovny.h>`. Příkaz je možné napsat taky ručně, ale je nutno se ujistit, jestli na zařízení je stažený soubor s danou knihovnou (9).

## 4.2 Návrh měřicího systému

Prvním krokem je návrh technologického schémata pro měřicí a řídicí řetězec (obr. 4.3).



Obr. 4.3 Technologické schéma měření a řízení teploty leptacího roztoku

### 4.2.1 Výběr senzoru

Pro měření teploty leptací kapaliny (Chlorid železitý –  $\text{FeCl}_3$ ) byl vybrán senzor DS18B20 od výrobce Eclipsera (obr. 4.4).



Obr. 4.4 Digitální teploměr DS18B20 (10)

Tab. 4.2 Specifikace teplotního snímače DS18B20 (10)

<b>Teplotní čidlo</b>	DS18B20	<b>Napájení</b>	3 až 5,5 V
<b>Stupeň krytí</b>	IP67	<b>Rozsah měření</b>	-55 až +125 °C
<b>Délka kabelu</b>	1 m	<b>Přesnost měření (-10 až +85 °C)</b>	± 0,5 °C
<b>Rozměry sondy (mm)</b>	50 x 6,5	<b>Rozlišení měření</b>	9 až 12 bitů

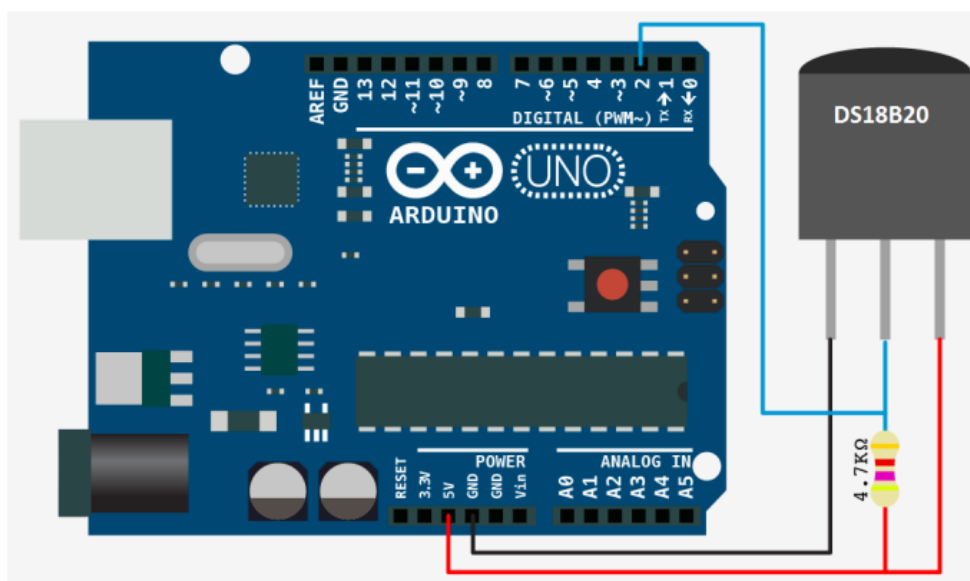
Výstupem snímače je napětí v rozsahu - 5 V do +6 V. Signál ze snímače teploměr zpracovává do digitální podoby a pomocí sběrnice 1–Wire data posílá do jednočipového mikroprocesoru Arduino, jenž dále zpracovává signál (např. zobrazuje teplotu na LCD). Teploměr je napájen napětím 5 V z Arduina (může být napájen napětím od 3 V do 5,5 V, viz tab. 4.2). Jelikož je teploměr kovový, bylo nutno na něj nanést vrstvu lepidla pro ochranu před leptacím roztokem. Teplotní rozsah je možno rozšířit i pro měření záporných teplot. Maximální rozlišení teploměru je od -55 °C do +125 °C, přičemž chyba ±0,5 °C je zaručena pro rozsah od -10 °C do +85 °C, pro rozsah od -30 °C do +100 °C je chyba ±1 °C a pro rozsah od -55 °C do +125 °C je chyba ±2 °C (10), (11).

## 4.2.2 Komunikace teploměru s Arduinem

Pro připojení teploměru k Arduinu je nutno propojit příslušné piny (tab. 4.3, obr. 4.6). Navíc je nutno použít PULL UP rezistor o odporu 4,7 kΩ.

Tab. 4.3. Popis vodičů snímače DS18B20 (10)

Barva vodiče	Popis
Červený	VCC
Černý	GND
Žlutý	DATA



Obr. 4.6 Způsob připojení teploměru k Arduinu (10)

Jak už bylo zmíněno, Arduino se programuje v softwarovém prostředí Arduino IDE (Arduino Integrated Development Environment). Jedná se o odvozeninu Jazyků C a C++ se speciálními zásadami pro třídění kódů. Důležitou součástí programu jsou knihovny, umožňující komunikaci s různými periferiemi, aniž by uživatel znal strukturu připojených součástí (9).

V případě teploměru DS18B20 to jsou knihovny *OneWire* a *DallasTemperature*, ukázka kódu pro sériovou komunikaci je na obrázku 4.7. Jak lze vidět v ukázce kódu, program se skládá ze třech hlavních částí. V první části se definují proměnné, knihovny a připojení k daným pinům. V druhé části *void setup* se provádí úvodní program, který proběhne jen jednou. V třetí části *void loop* se provádí cyklicky opakující program. Na obr 4.8 je vidět výsledek měření teploty při sériové komunikaci (12).

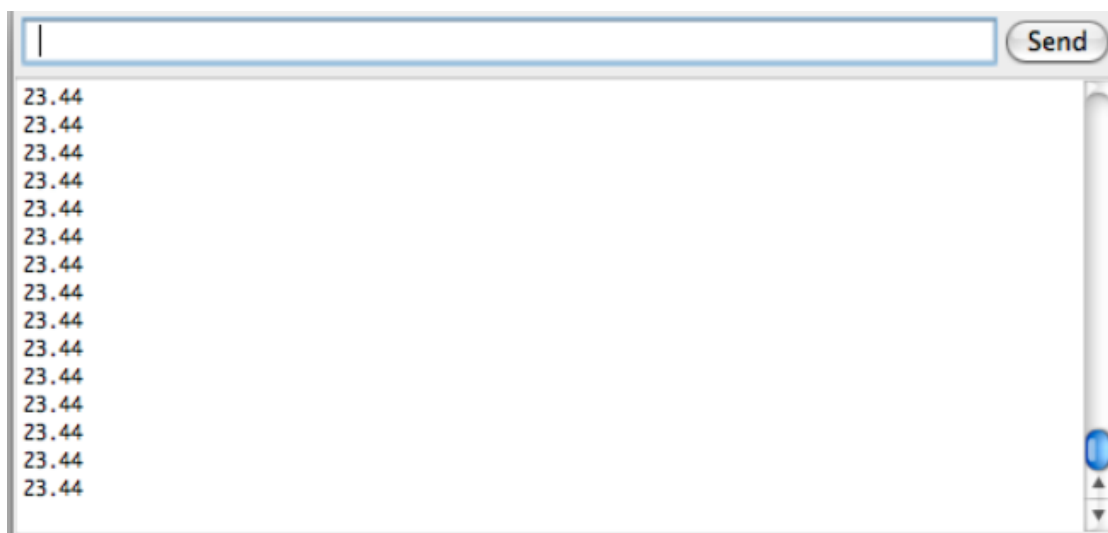
displej\_teploata | Arduino 1.8.7 (Windows Store 1.8.15.0)

Soubor Úpravy Projekt Nástroje Nápověda



```
displej_teploata $  
  
#include <OneWire.h>  
#include <DallasTemperature.h>  
#include <Wire.h>  
  
const int pinCidlaDS = 4;  
OneWire oneWireDS(pinCidlaDS);  
DallasTemperature senzoryDS(&oneWireDS);  
char a;  
|  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
  
    senzoryDS.begin();  
}  
void loop()  
{  
  
    //teplota  
    senzoryDS.requestTemperatures();  
  
    Serial.print(senzoryDS.getTempCByIndex(0));  
  
}
```

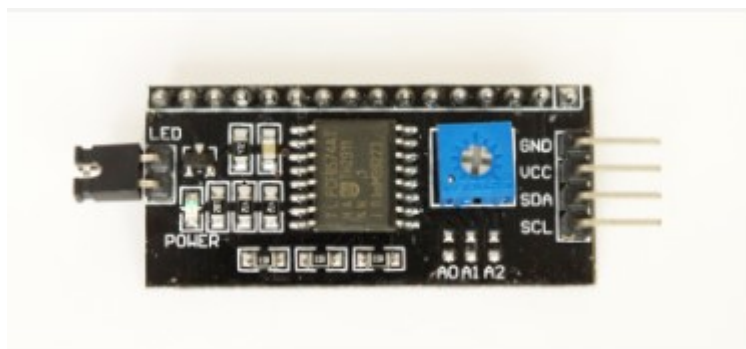
Obr. 4.7 Ukázka kódu v Arduino IDE pro sériovou komunikaci s teploměrem



Obr. 4.8 Ukázka sériové komunikace (výsledek měření teploty ve °C)

### 4.2.3 Komunikace Arduina s displejem přes převodník I2C

Výhodou použití I2C převodníku je úspora pinů (místo deseti pinů se obsadí jen dva analogové piny). I2C převodník je zobrazený na obr. 4.9

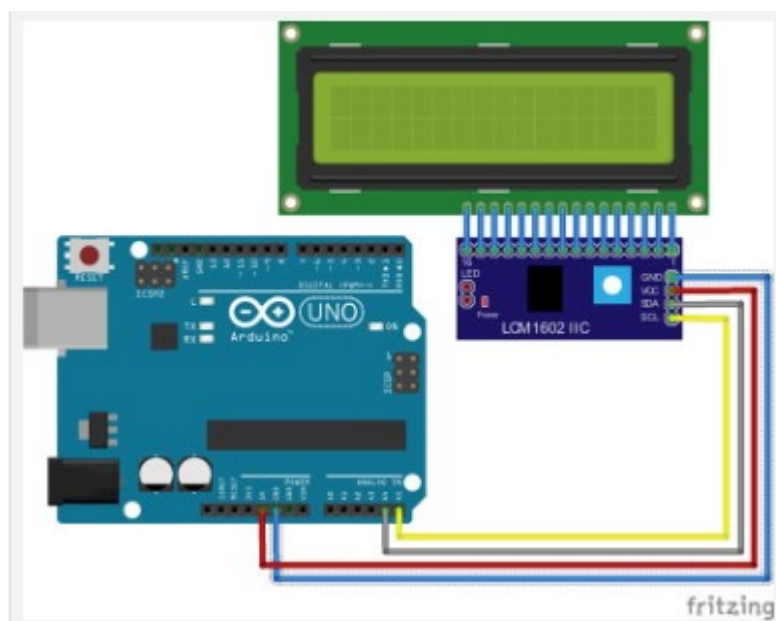


Obr. 4.9 Převodník I2C (13)

Převodník má po delší straně kontaktní kolíky, které se zasunou a připájí do otvorů v desce LCD displeje. Všechny vývody I2C konektoru jsou popsány. Pro připojení k displeji slouží 16 pinů, pro připojení k Arduinu jsou k dispozici 4 piny (*Vcc*, *Gnd*, *SCL*, *SDA*) (13).

Na desce převodníku je LED kontrolka napájení a trimer, jímž se nastaví optimální kontrast displeje (obr. 4.9).

Základní připojení I2C je velmi jednoduché (obr. 4.10), spojí se +5 V, zem, SCL signál na A5 a SDA na A4 (tyto dva piny jsou pevně dané pro daný typ Arduina). PULL UP rezistory nejsou nutné (13).

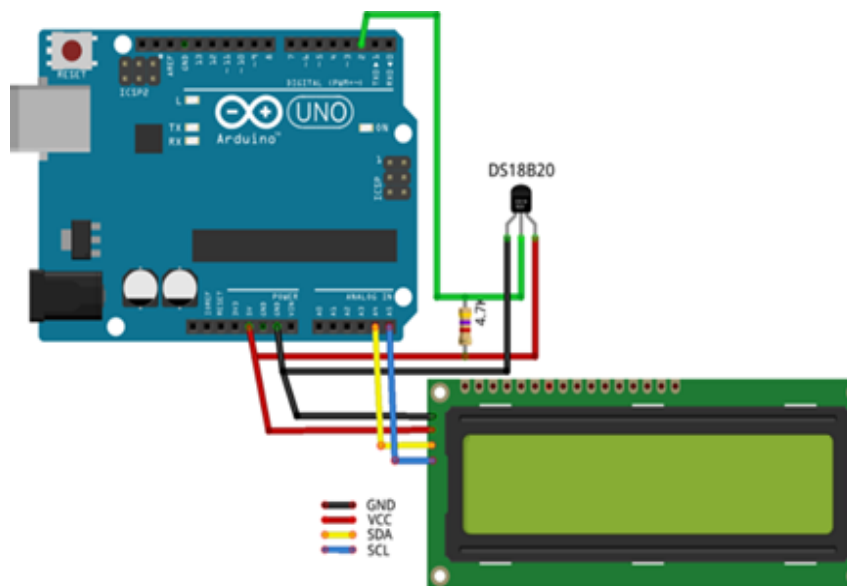


Obr. 4.10 Zapojení LCD displeje s I2C převodníkem

Samotný program potom není náročný, stačí jen nadefinovat knihovnu *LiquidCrystal\_I2C* a co se má na displeji zobrazovat.

#### 4.2.4 Nastavení zobrazení teploty na displeji

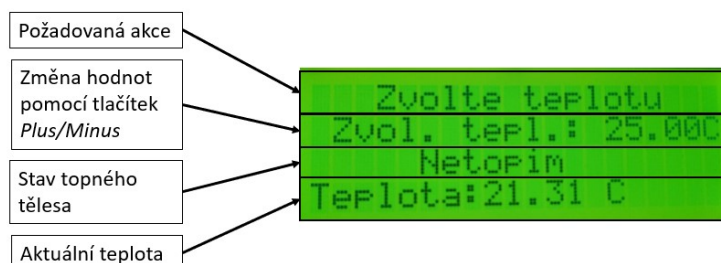
Posledním krokem, který zbývá je nastavit zobrazení teploty na displeji. Součástí programu jsou knihovny *OneWire*, *DallasTemperature*, a *LiquidCrystal\_I2C*. V programu je také zachován příkaz pro komunikaci po sériové lince pro kontrolu údajů. Zapojení je možno vidět na obrázku 4.11.



Obr. 4.11 Zapojení teploměru a LCD displeje na desku Arduino

### 4.3 Návrh řídicího systému

Řídicí aplikace zařízení umožňuje nastavení a udržování požadované teploty uvnitř leptací lázně a nastavení času, po jehož uplynutí oznámí zařízení ukončení cyklu. Položky zobrazené na LCD jsou na obr. 4.12. Funkce řídicího programu jsou na obr. 4.13. Vývojový diagram je na obr. 4.14, dílčí vývojové diagramy na obr. 4.15 až 4.18. Program pro řídicí aplikaci, který je napsaný v prostředí Arduino IDE je v příloze 2 (14).



Obr. 4.12 Položky zobrazené na LCD

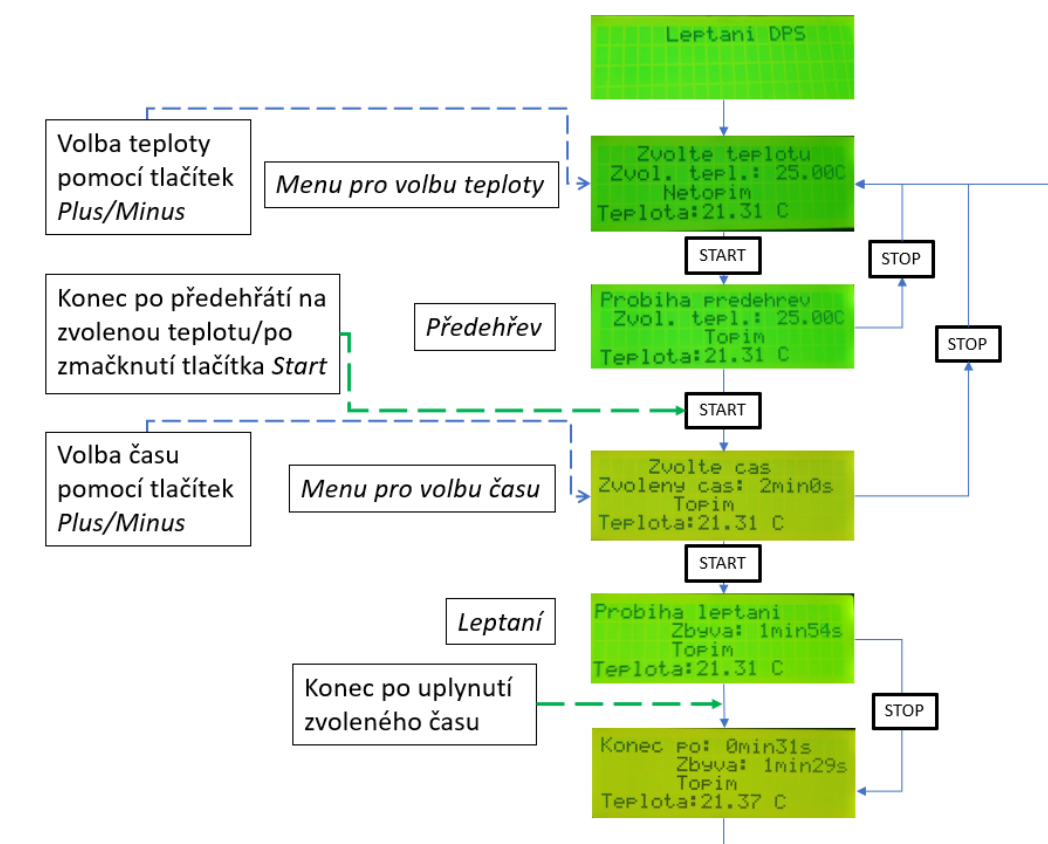
Pro ovládání stanice má uživatel k dispozici čtyři tlačítka: *Start*, *Stop*, *Plus* a *Minus*.



Po celou dobu běhu programu je na posledním řádku LCD zobrazená teplota a na třetím řádku je zobrazen stav topného tělesa („*Topím / Netopím*“).

První položkou programu je *Menu* pro volbu teploty (funkce *Volba teploty*). Změnu hodnoty teploty se provádí tlačítky *Plus* a *Minus*, volbu se potvrdí tlačítkem *Start*. Výchozí hodnota teploty, kterou uživatel nastavuje, je 45 °C.

Po potvrzení se spustí funkce *Přehřev*, ve které dochází k přehřátí roztoku na požadovanou teplotu. Po dosažení zvolené teploty zazní zvuková signalizace a na displeji se zobrazí položka *Menu* pro volbu času (funkce *Volba času*). Funkci *Přehřev* lze přeskočit zmačknutím tlačítka *Start*.

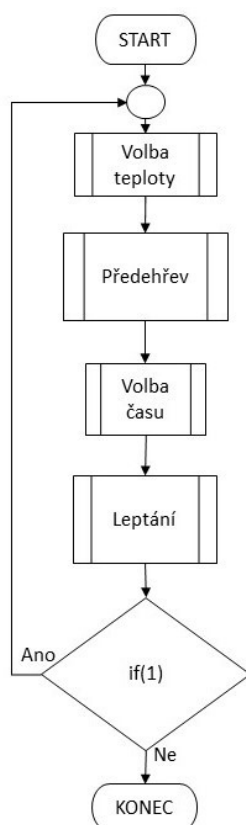


Obr. 4.13 Funkce řídicí aplikace

V *Menu* pro volbu času se volí čas leptání. Výchozí čas je 5 minut a změny se provádí s půlminutovým krokem pomocí tlačítek *Plus* a *Minus*. Pro návrat na *Menu* pro volbu teploty je třeba zmačknout tlačítko *Stop*, pro spuštění leptacího programu je třeba zmačknout tlačítko *Start*. Výchozí hodnota času, kterou však může uživatel měnit je 5 minut

Po zmačknutí tlačítka *Start* se spustí funkce *Leptání*, při které probíhá dvoupolohová regulace. Výchozí hodnotou dvoupolohové regulace je hystereze  $\pm 1$  °C (tuto hodnotu nemůže uživatel měnit). Uživatel vidí na displeji čas, který zbývá do konce průběhu leptání. Po uplynutí času je uživatel upozorněn na konec leptání zvukovým signálem. Pokud chce uživatel ukončit

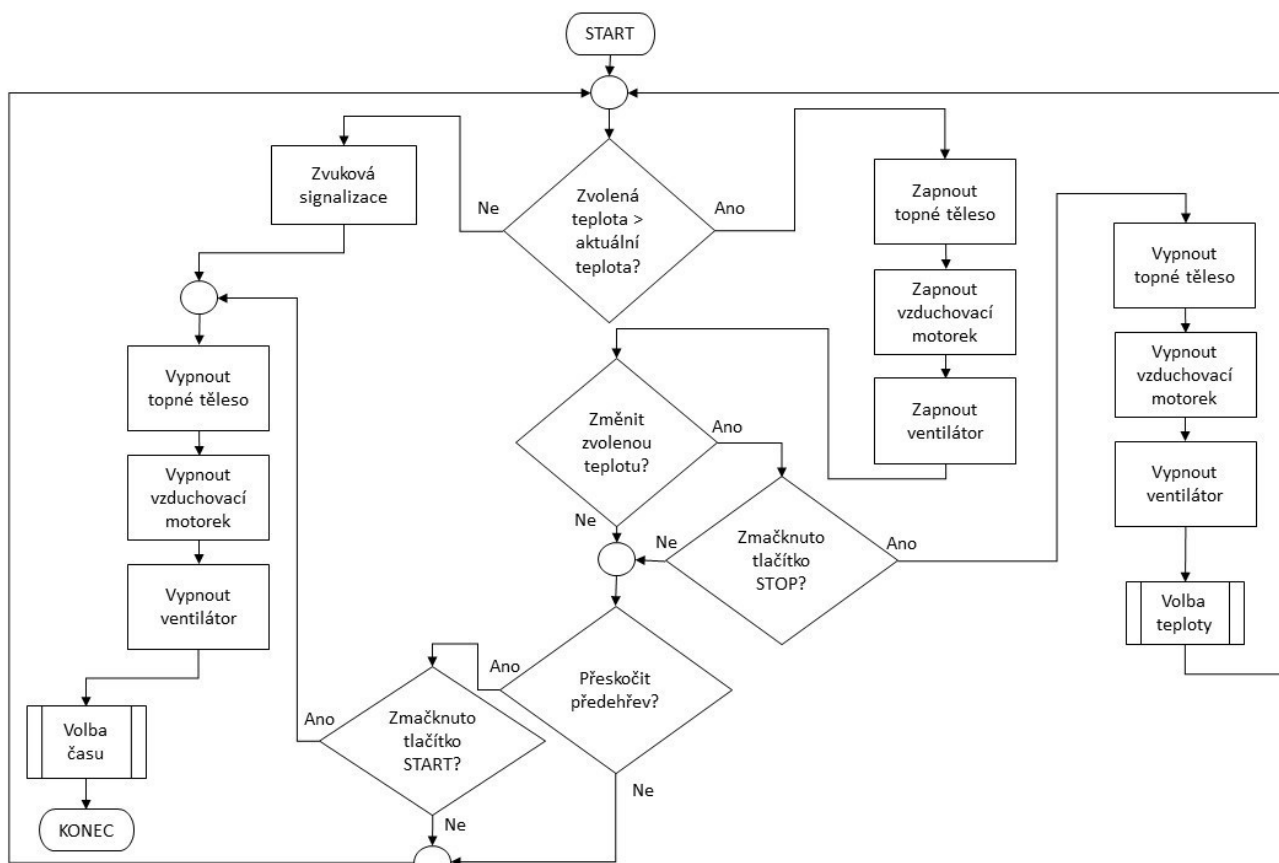
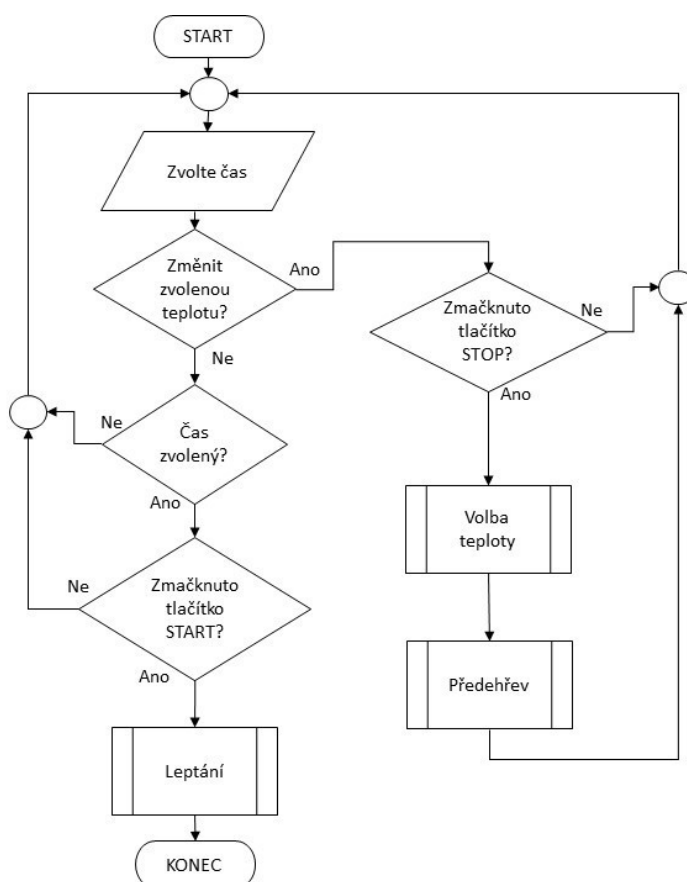
leptání předčasně, může to udělat zmačknutím tlačítka *Stop*. Po zmačknutí tlačítka *Stop* opět zazní zvukový signál a na displeji se zobrazí, jak dlouho trvalo leptání (15).

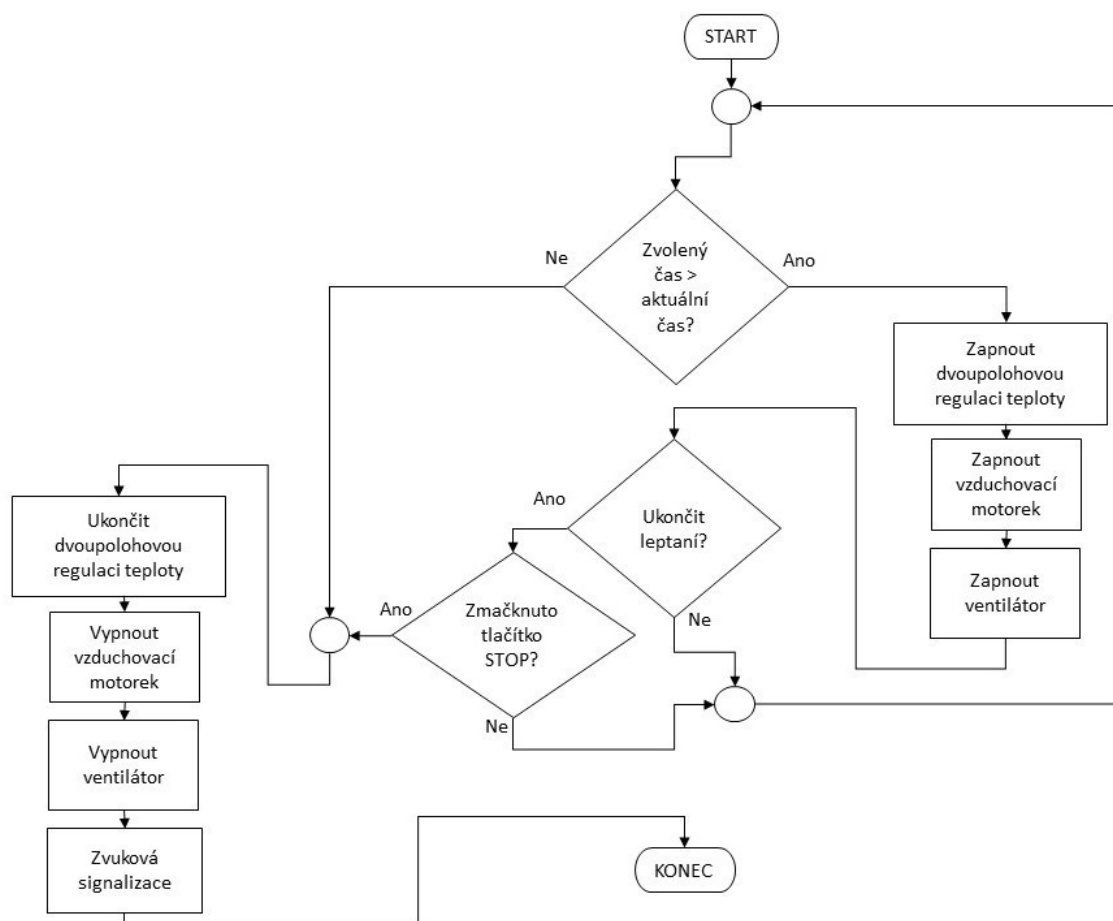


Obr. 4.14 Hlavní vývojový diagram



Obr. 4.15 Vývojový diagram funkce *Volba teploty*

Obr. 4.16 Vývojový diagram funkce *Předehřev*Obr. 4.17 Vývojový diagram funkce *Volba času*

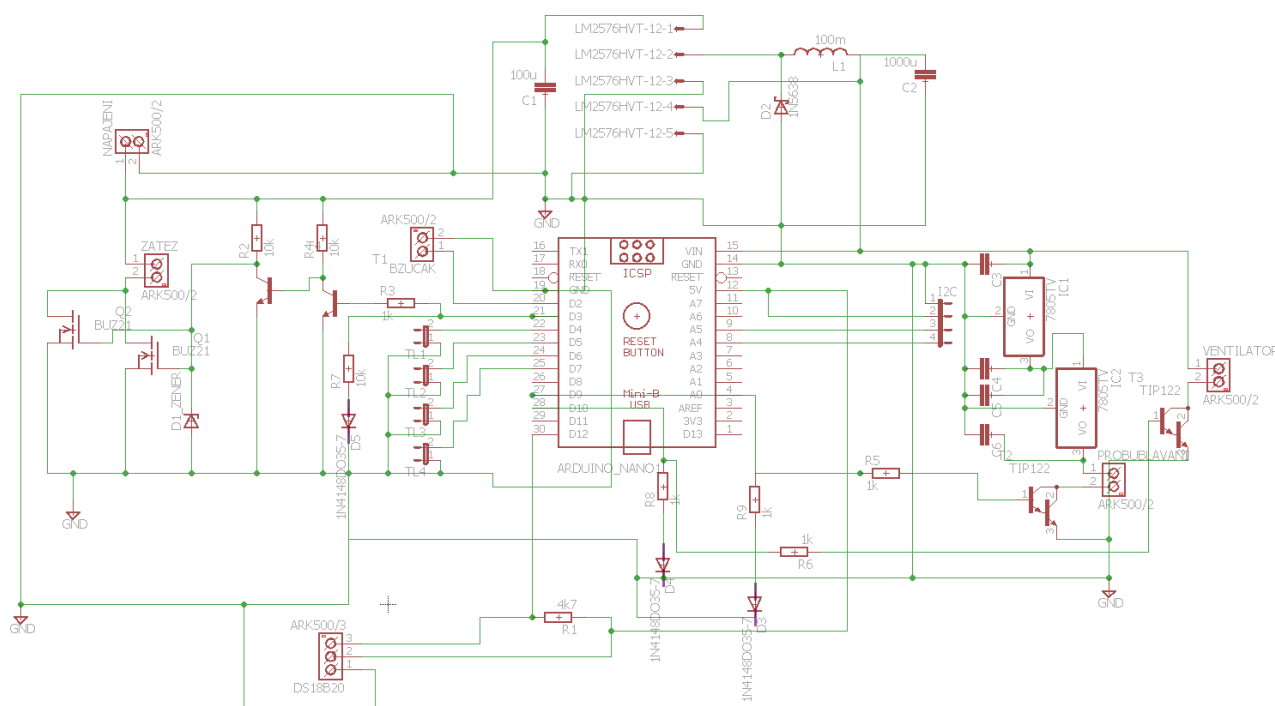
Obr. 4.18 Vývojový diagram funkce *Leptání*

## 5 Návrh elektrického obvodu pro úpravu signálů

Jak již bylo zmíněno, z leptacího zařízení vede k desce Arduino třížilový kabel pro čtení hodnot z teploměru a dvoužilový kabel pro napájení topného tělesa. Popis připojení teploměru a LCD displeje je popsán v kapitole 4.1.5. Kromě toho budou k desce Arduino připojeny 4 tlačítka (*Start*, *Stop*, *Plus*, *Minus*) – na schématu TL1 – TL4, bzučák, spínání ventilátoru, probublávání a výkonové zátěže. Celý obvod je napájen z DC zdroje o parametrech 48 V/10 A. Pro napájení desky Arduino, ventilátoru a probublávání napětím 12 V je použitý spínaný regulátor napětí LM2576HVT-12 (16).

Vzduchovací motorek je napájený napětím 5 V, a proto je napětí sníženo pomocí regulátorů napětí 7805 a 7809.

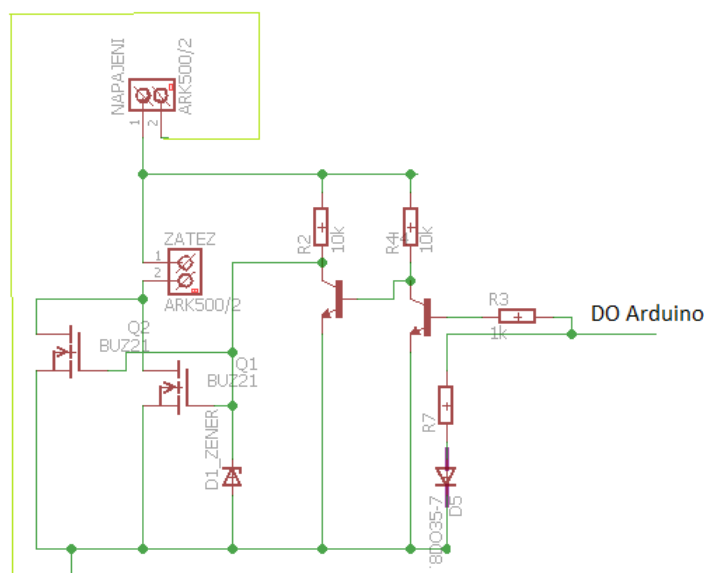
Schéma elektrických obvodů je na obr. 5.1. Seznam použitých součástek je v příloze 3.



Obr. 5.1 Schéma elektrických obvodů

Spínání výkonové zátěže je realizováno pomocí tří tranzistorů. První NPN tranzistor je přes ochranný rezistor R<sub>3</sub> připojený na desku Arduino. Pokud není první NPN tranzistor sepnutý, tak druhý NPN tranzistor je sepnutý (je na něj přivedeno napájecí napětí, a proto celé napětí 48 V jde přes ochranný rezistor k zemi). Pokud je první NPN tranzistor sepnutý (na bázi je přivedeno napětí z digitálního výstupu Arduino), je druhý tranzistor rozepnutý a na GATE MOSFET tranzistoru je přivedené napětí – je sepnutý. Hodnota napětí přivedená na GATE MOSFET tranzistoru je pomocí Zenerovy diody omezená na 15 V. Tento tranzistor typu MOSFET slouží přímo pro spínání výkonové zátěže. Napětí potřebné pro jeho sepnutí je

maximálně 30 V. Schéma spínání výkonové zátěže je na obr. 5.2. Na svorkovnici ARK-500/2 je připojená zátěž – topné těleso. Tranzistory typu MOSFET jsou v návrhu dva proto, aby se zmenšil ztrátový výkon na jeden tranzistor. V konečném nasazení se zapojil pouze jeden MOSFET tranzistor z důvodu použití vhodnějšího tranzistoru s menším  $R_{ds}$ . LED je připojená přes ochranný rezistor k zemi a slouží jen pro indikaci stavu digitálního výstupu. V konečném nasazení se nepoužila, sloužila jen v testovací fázi.



Obr. 5.2 Schéma spínání výkonové zátěže

Spínání vzduchovacího motorku a ventilátoru bylo realizováno pomocí bipolárních Darlingtonových tranzistorů typu NPN (TIP122). Jelikož proudový odběr bzučáku je kolem 40 mA nebylo ho nutno napájet z externího zdroje – je napájený přímo z digitálního výstupu Arduina.

K regulátorům napětí a MOSFET tranzistoru bylo nutno připojit chladiče z důvodu přílišného ohřevu součástek.

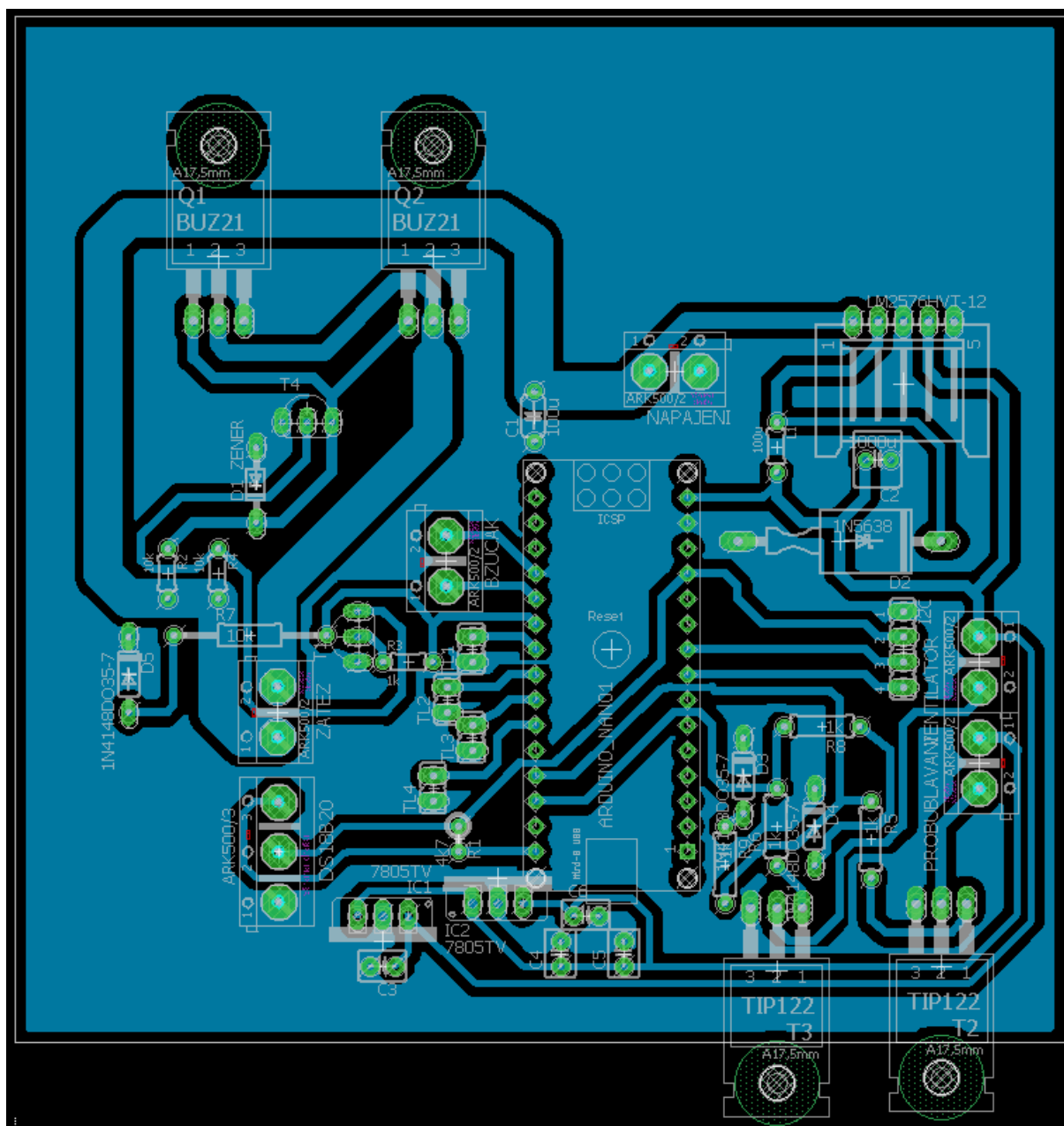
Seznam všech použitých součástek je uvedený v příloze 3.

Ke svorkovnici ARK-500/3 je připojený teploměr DS18B20: na první pin je přivedená zem (černý vodič), na druhý je připojeno napájení (červený vodič) a na třetí pin je připojen D12 port z Arduina (žlutý vodič).

Na základě elektrického schématu byla vytvořena předloha k leptání DPS, která je na obr. 5.3

Připojení displeje je uskutečněno pomocí 4pinové lišty, na kterou se připojují dané piny Arduina. Pořadí pinů je následující: *GND*, *Vcc* (5 V), *SCL*, *SDA*.

Připojení Arduino Nano je uskutečněno pomocí 15pinové dutinové lišty. Je to uděláno proto, aby bylo snazší s deskou Arduino manipulovat a nedocházelo ke zbytečnému prohřátí spojů v desce Arduino při pájení.



Obr. 5.3 Předloha k leptání DPS

## 6 Sestavení zařízení a experimentální ověření jeho funkčnosti

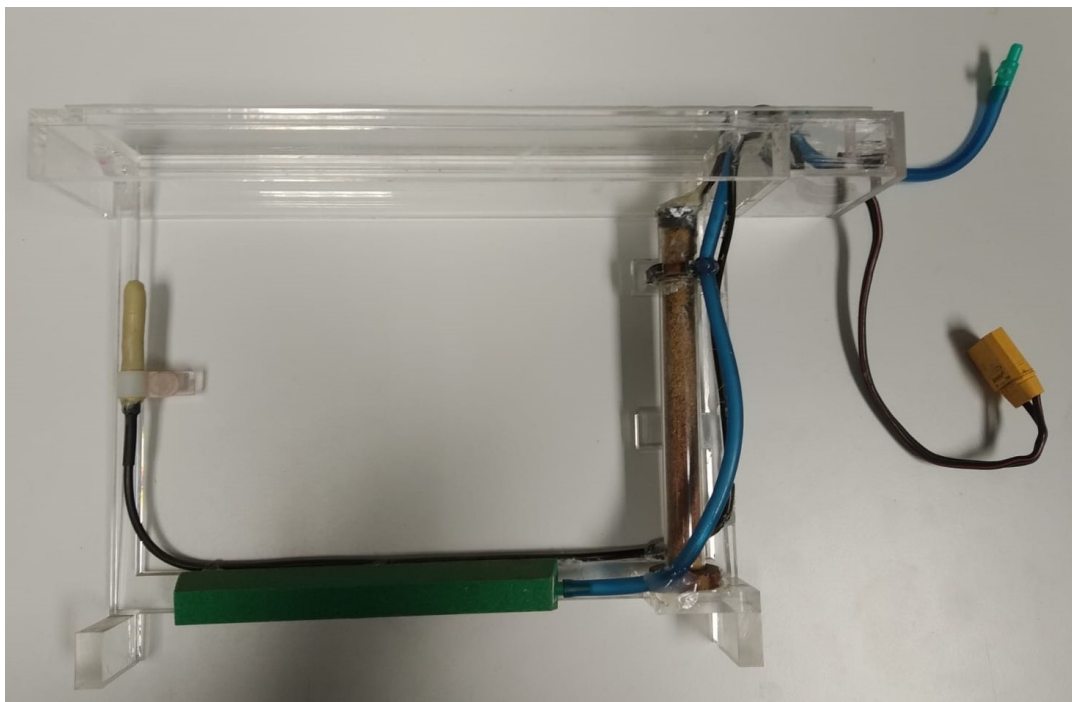
Podle 3D návrhu bylo z PMMA desek vyrobeno zařízení pro leptání DPS. Kvůli jednodušší výrobě byly některé části mírně upraveny. Součást pro zakrytí prostoru pro kabeláž se musela vyrobit znovu, protože byla navržena pro použití konektoru typu Superseal. Tento konektor se nepoužil, protože výkonově nevyhovoval.

Topné těleso bylo uchyceno na zařízení pomocí objímky vytištěné na 3D tiskárně (obr. 6.1). Mezi objímku a topné těleso byla umístěná tenká vrstva pertinaxu pro lepší tepelnou izolaci.



Obr. 6.1 Objímka pro držení topného tělesa v zařízení

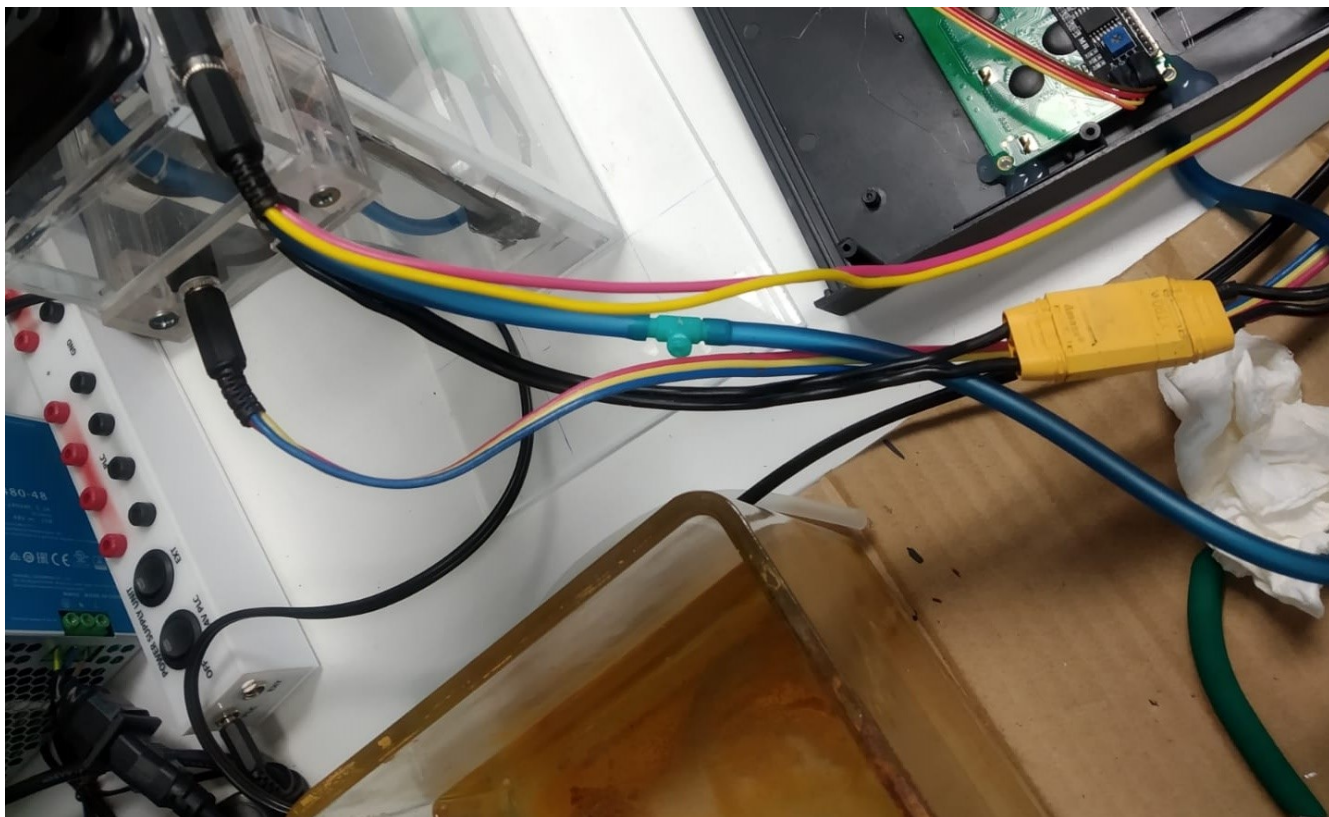
Vzduchovací motorek byl napojen na vzduchovací kamen, který byl přilepen pomocí tavné pistole. Z důvodu většího průměru kabelu pro napájení topného tělesa ho bylo nutno



Obr. 6.2 Držák topného tělesa se všemi komponenty



protáhnout přes dodatečný otvor do prostoru pro konektor. Jelikož konektor XT90 není v provedení do panelu, bylo nutno vytáhnout kousek kabelu a konektor na něj umístit. Ventilátor SUNON PE60251BX-A99 byl na víko přilepený pomocí tavné pistole a byl připojený na napájecí souosý konektor NP-326A (obr. 6.2, 6.3, 6.4).

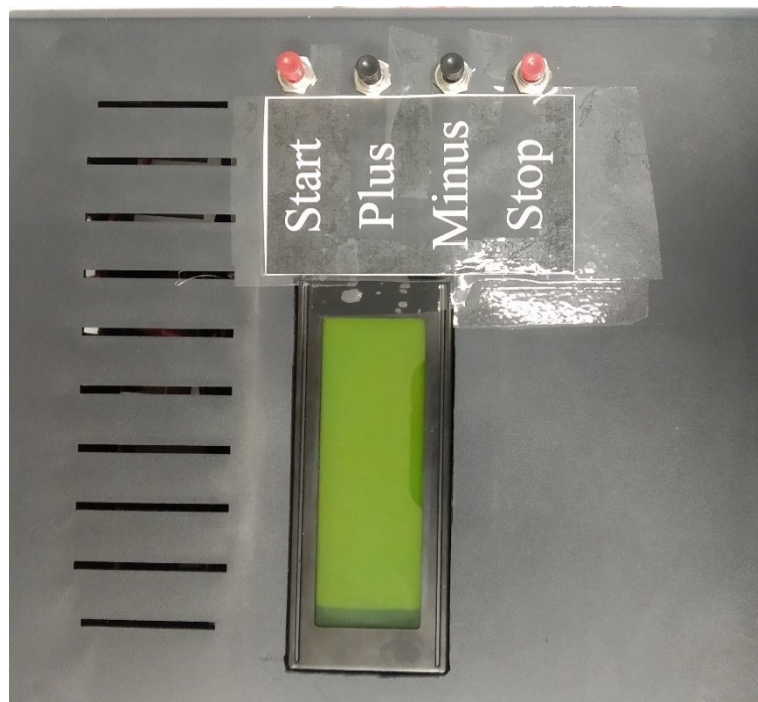


Obr. 6.3 Detail konektorů vyvedených ze zařízení



Obr. 6.4 Připojení ventilátoru

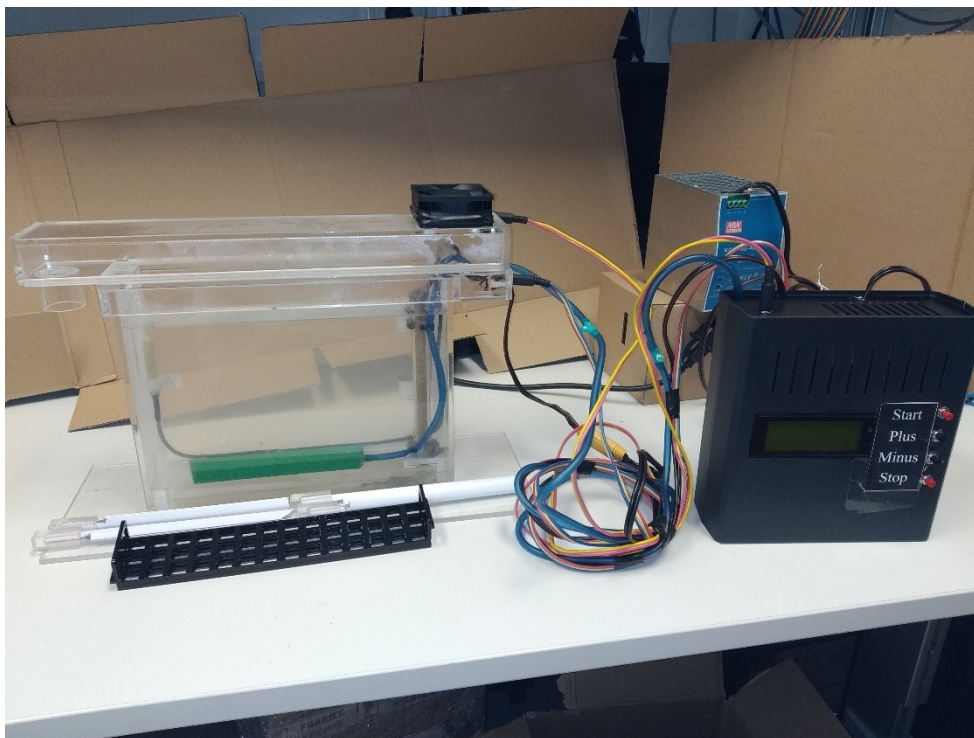
Deska pro úpravu signálu, tlačítka, bzučák a vzduchovací motorek PYP370 se nachází v ovládacím panelu. Z panelu je vyvedený dvoužilový kabel pro napájení topného tělesa (na konektor XT90), třížilový kabel pro čtení z teploměru (na konektor jack 3,5mm), a dvoužilový kabel pro napájení ventilátoru. Napájení ze zdroje 48 V/10 A je uskutečněno pomocí konektoru XT90. Z panelu je vyvedená hadice pro vzduchovací kamen.



Obr. 6.5 Vzhled ovládacího panelu



Obr. 6.6 Detail kabelů vyvedených z ovládacího panelu



Obr. 6.7 Konečná podoba zařízení s připojeným ovládacím panelem

Seznam všech použitých konektorů je uvedený v tabulce v příloze č.3.

Po připojení všech spotřebičů byly změřeny jednotlivé proudové odběry.

Tab. 6.1 Proudové odběry spotřebičů

Připojené zařízení	Napětí [V]	Proud [mA]	Výkon [W]
Vzduchovací motorek	5 V	350	1,9
Ventilátor	12 V	380	4,56
Arduino Nano	12 V	80	0,96
Topné těleso	48 V	7 384	354
Součet			361,42

Maximální výkon dodávaný ze zdroje 48 V/10 A je 480 W, a proto je jeho výkon dostačující.

Do nádoby byly nality 2 litry vody a na základě času ohřevu se vypočítal výkon topného tělesa (tab.6.2).



Tab.6.2 Výkon topného tělesa

$\Delta T$ [°C]	$\Delta Q$ [J]	Čas[s]	Výkon [W]
12	100800	273	369,23
14	117600	337	348,96
16	134400	362	371,27
22	184800	492	375,60
Průměrný výkon			366,27

Naměřené hodnoty nejsou úplně přesné z důvodu setrvačnosti teplotního snímače a jeho umístění. Po ukončení topení docházelo k mírnému nárustu teploty.

V poslední části byla experimentálně ověřena funkčnost zařízení a všech jeho komponent. Z důvodu bezpečnosti práce byla v testovací části nádoba naplněna pouze vodou.

Z důvodu použití 3,5 mm jack konektoru je nemožné s konektorem manipulovat v průběhu běhu programu, protože dochází k resetu desky Arduino. Pro správné měření teploty je nutno naplnit nádobu alespoň 1,8 l kapaliny.

## 7 Zhodnocení dosažených výsledků a závěr

Cílem práce bylo navrhnout zařízení pro leptání DPS. Zařízení mělo být kompletně rozebíratelné a celá elektronika se měla připojovat přes vhodné konektory. Součástí zařízení mělo být topné těleso odolné leptacímu roztoku, vzduchovací motorek sloužící k probublávání vzduchem a odvětrávání celé nádoby. Pro uživatele měl být k dispozici ovládací panel s LCD displejem, na kterém mohl pomocí tlačítek volit vhodné parametry pro leptání DPS.

Na základě analýzy bylo zvoleno zařízení s leptáním ponořených desek. Tato metoda je málo náročná na náklady a čas.

Roztok chloridu železitého je agresivní vůči většině kovů, a proto je nutno v návrhu leptacího zařízení počítat pouze s nekovovými materiály. Topné těleso bylo realizováno z odporového drátu navinutého na keramickou tyčinku. Odporový drát je umístěn ve skleněné zkumavce naplněné pískem. Písek slouží pro akumulaci tepla a jako ochrana před přílišným nahříváním drátu (hrozí propálení). Odpor topného tělesa včetně vinutí je  $6\ \Omega$ , což dává při napětí 48 V teoretický elektrický výkon 384 W.

Pro svou průhlednost a vhodné vlastnosti při obrábění bylo zařízení navrženo pro výrobu z desek z plexiskla o tloušťce 5 mm. Zařízení pro leptání bylo vyprojektováno v programu Creo Parametric 4.0. Zařízení bylo navrženo s důrazem pro snadno rozebíratelnou konstrukci a možnost případného čištění.

K řízení zařízení byla zvolena vývojová deska Arduino Nano. Tato deska je vhodná pro použití v embedded systémech, protože má nízkou energetickou náročnost. Výhodou vývojových desek Arduino je open source platforma, díky níž je mnoho projektů dostupných na internetu.

Měřicí a řídicí obvod se skládá z:

- vývojové desky Arduino Nano,
- teplotního čidla DS18B20,
- LCD displeje pro zobrazování teploty,
- čtyř tlačítek pro nastavování parametrů řídicí aplikace,
- obvodů pro spínání ventilátoru, topení a vzduchovacího kompresoru.

Výchozími parametry pro dvoupolohovou regulaci je: hystereze  $\pm 1\ ^\circ\text{C}$ , čas 5 minut a teplota  $45\ ^\circ\text{C}$ . Parametry, které může uživatel v aplikaci nastavovat, je čas a teplota. Uživatelská aplikace byla napsaná v prostředí Arduino IDE.

Deska Arduino Nano, obvody pro spínání jednotlivých spotřebičů a jiné komponenty jsou umístěné na desce plošných spojů. Elektrické schéma bylo navrženo v programu Eagle. Systém je napájený ze zdroje 48 V/10 A stejnosměrného napětí, které je poté pomocí regulátorů napětí sníženo na hodnotu 12 V pro napájení ventilátoru a Arduina a na hodnotu 5 V pro napájení vzduchovacího motorku. Spínání výkonové zátěže (topného tělesa) bylo realizováno pomocí unipolárního tranzistoru typu MOSFET. Spínání vzduchovacího motorku a ventilátoru bylo realizováno pomocí bipolárních Darlingtonových tranzistorů typu NPN.

DPS s řídicím obvodem a vzduchovací motorek jsou umístěny v ovládacím panelu. Kromě toho jsou na panelu 4 tlačítka pro změnu parametrů leptání a LCD. Zdroj je k ovládacímu panelu připojený přes silový konektor XT90. Pro připojení topného tělesa je použitý stejný konektor XT90, který je umístěný na leptacím zařízení. Teplotní snímač je připojený přes 3,5 mm jack konektor, který je umístěný přímo v leptacím zařízení. Kromě toho je z ovládacího panelu vyvedená hadice ze vzduchovacího motorku a kabel pro napájení ventilátoru. Z důvodu snazší manipulace je konektor pro napájení ventilátoru na ovládacím panelu i na zařízení.

Po sestavení zařízení a ovládacího panelu se experimentálně ověřila funkčnost jednotlivých komponent. Výsledný výkon topného tělesa je 366,27 W, což je postačující hodnota. Při ohřívání 2 l vody byl čas ohřevu z pokojové teploty na 45 °C zhruba 8 minut. Jelikož má voda větší tepelnou kapacitu než roztok chloridu železitého, je výkon postačující.

Další směr vylepšení leptacího zařízení je vytvořit nadstavbu pro získávání už odleptané mědi z roztoku. V aktuálním stavu se použitý leptací roztok ekologicky likviduje. Pokud by bylo vytvořeno zařízení pro elektrolytické vyčištění roztoku, kapalinu by bylo možno zase použít, čímž by se výrazně snížily náklady na výrobu DPS. Mědi rozpuštěnou v leptacím roztoku by se mohlo pokovovat součásti (možné použití jako antikorozi ochrana).

## Použitá literatura

- (1) PCB Manufacturing Process — A Step-by-Step Guide. *Pcbcart* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.pcbcart.com/article/content/PCB-manufacturingprocess.html>.
- (2) Chlorid železitý. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2017 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlorid\\_%C5%BEEleazit%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Chlorid_%C5%BEEleazit%C3%BD).
- (3) NERUŠIL, Petr. *Optimalizace procesu vyvolání a leptání DPS*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Starý, Ph.D.
- (4) MORÁVKA, Jan. *Návrh a realizace poloautomatické leptací stanice*. Plzeň, 2017. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Martin Šindelář.
- (5) Spray etching machine SUNY-ZFS300. *SUNY Instrument Limited* [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: [http://www.sunyinstrument.com/index.php?route=product/product&product\\_id=293](http://www.sunyinstrument.com/index.php?route=product/product&product_id=293).
- (6) PCB Etching Kit System (ET20). *Amazon Services LLC* [online]. [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/PCB-Etching-Kit-System-ET20/dp/B00DIF2C8M>.
- (7) Polymethylmethakrylát. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2017 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polymethylmethakryl%C3%A1t>.
- (8) Plexisklo čiré. *Titan – Multiplast* [online]. 2018 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.multiplast.cz/eshop/transparentni-plexisklo-58/plexisklo-cire-3-mm-plexiglas-xt-262>
- (9) VODA, Zbyšek a tým HW Kitchen. *Průvodce světem Arduina* [online]. 2. Bučovice: Nakladatelství Martin Stríž, 2018 [cit. 2018-12-10]. ISBN 978-80-87106-90-7. Dostupné z: [https://arduino.cz/wp-content/uploads/cdn/ebookv103.pdf?utm\\_source=newsletter&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=pruvodce\\_svetem\\_arduina\\_e\\_book\\_zdarma&utm\\_term=2018-12-08](https://arduino.cz/wp-content/uploads/cdn/ebookv103.pdf?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=pruvodce_svetem_arduina_e_book_zdarma&utm_term=2018-12-08)
- (10) Teplotní senzor DS18B20. *Arduino návody* [online]. [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-ds18b20.html>.
- (11) DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. *Maxim Integrated Products* [online]. 2018 [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- (12) Teplotní senzor DS18B20 datasheet. *Arduino-shop* [online]. 2018 [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/128/1500635996.pdf>

- (13) Cypress Semiconductor Corporation. Character LCD with an I2C Interface (I2C LCD). Cypress [online]. San José: PSoC® Creator™ Component Datasheet, 2013, [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/file/127746/download>
- (14) KERNIGHAN, Brian W. a Dennis M. RITCHIE. Programovací jazyk C. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 80-251-0897-x.
- (15) SELECKÝ, Matúš. Arduino: uživatelská příručka. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4840-2.
- (16) LM2576HVT-12 TO220-5 TEXAS INSTRUMENTS. *GM electronic* [online]. [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/lm2576hvt-12-to220-5-texasinstruments>.



## Seznam příloh

<b>PŘÍLOHA 1 SESTAVENÍ CELÉHO ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>I</b>
<b>PŘÍLOHA 2 KÓD ŘÍDICÍHO PROGRAMU .....</b>	<b>VI</b>
<b>PŘÍLOHA 3 SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK .....</b>	<b>XII</b>
<b>PŘÍLOHA 4 PŘÍLOHY NA CD.....</b>	<b>XIV</b>

## Příloha 1 Sestavení celého zařízení

Prvním krokem k sestavení zařízení je nalití do hlavní nádoby (odstavec 3.2.1) asi 2 l leptacího roztoku (obr. II)

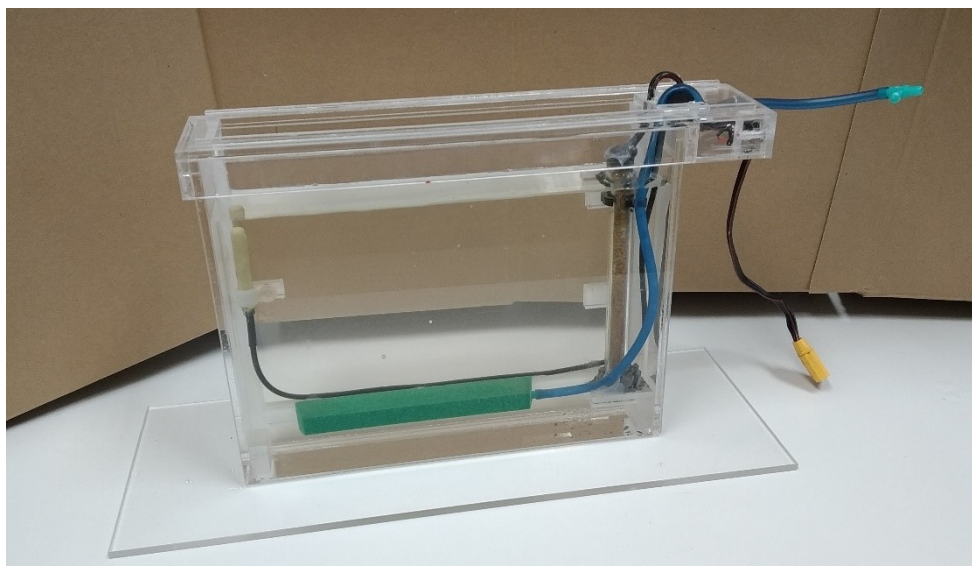


Obr. I Prázdná nádoba



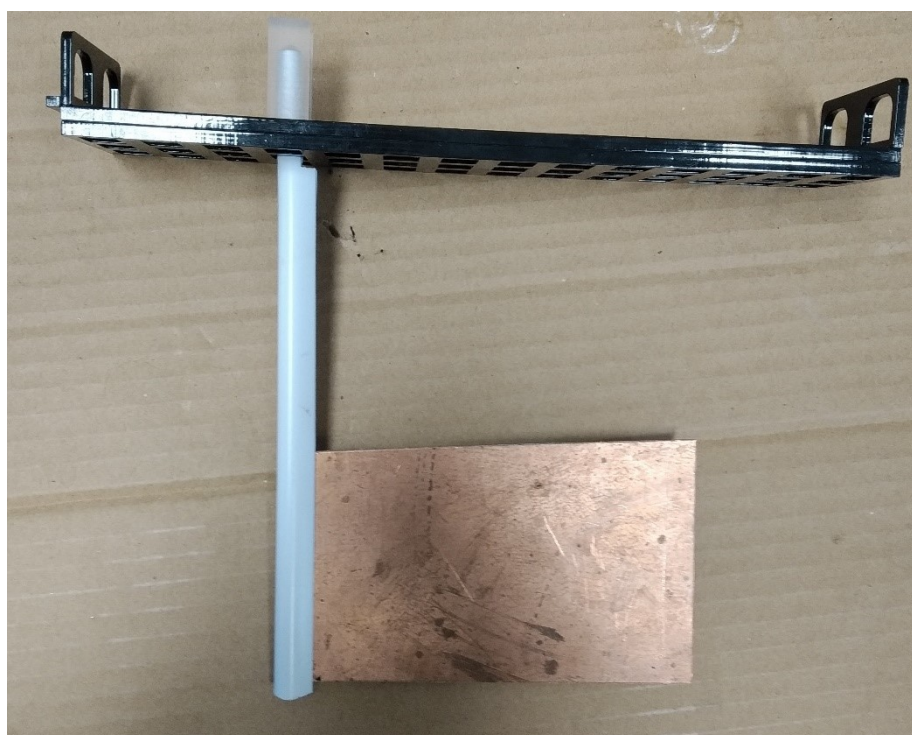
Obr. II Nádoba naplněna 2 l kapaliny

Dalším krokem je zastrčení do hlavní nádoby drážku topného tělesa (odstavec 3.2.2, obr. III).



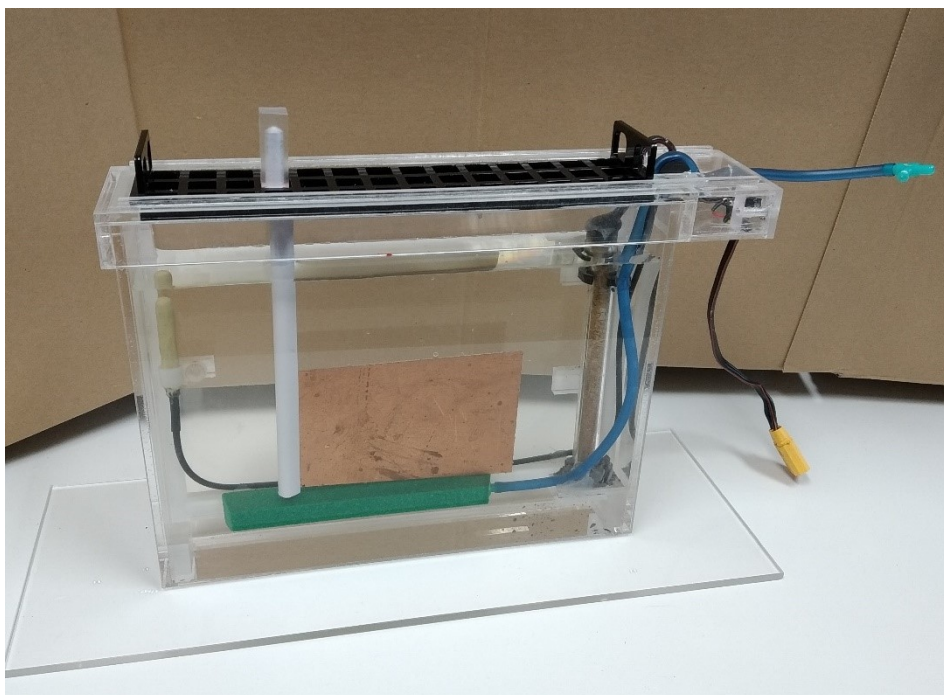
Obr. III Hlavní nádoba se zastrčeným držákem topného tělesa

Do děrovaného víka (odstavec 3.2.3) se zastrčí spona pro uchop DPS a do ní se nasadí desku určenou k leptání (obr. IV). Jelikož v místě úchopu není zaručeno úplné odleptání, je nutno na straně, kde se DPS bude uchopovat, ponechat asi 1 cm proužek kuprexitu.



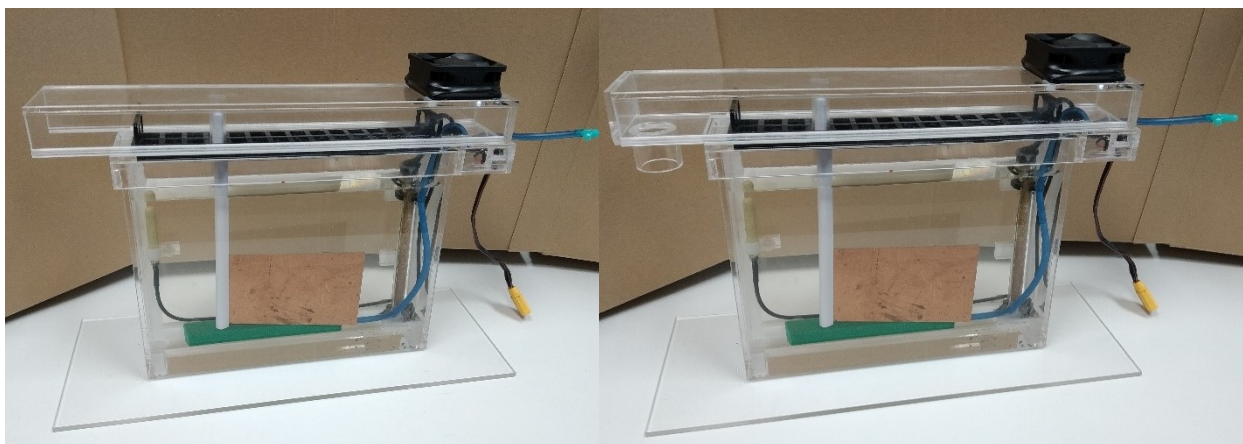
Obr. IV Děrované víko s nasazenou kuprexitovou deskou k leptání

Děrované víko se nasadí do držáku topného tělesa (obr. V).



Obr. V Nasazení děrovaného víka do zařízení

Do kolejnic na držáku topného tělesa se nasune víko a výfuk (obr. VI; odstavce 3.2.4 a 3.2.5)



Obr. VI Nasazení víka a výfuku

Posledním krokem, který zbývá pro sestavení zařízení, je propojit ovládací panel a zdroj. Teploměr se připojuje pomocí jack 3,5mm konektoru umístěným na zařízení (obr. VII), topné těleso se připojuje konektorem XT90 umístěným na kabelu u zařízení (obr. VIII), ventilátor se připojuje souosým konektorem umístěným na zařízení (obr. IX). Hadice k vzduchovacímu kamenu se připojuje přes mezikus umístěný u zařízení (obr. X). Napájení zařízení se připojuje pomocí konektoru XT90 umístěným na kabelu u ovládacího panelu (obr. XI). Posledním úkonem je připojit zdroj do zásuvky, čímž je zařízení spuštěno.





Obr. VII Připojení teploměru



Obr. VIII Připojení topného tělesa



Obr. IX Připojení ventilátoru



Obr. X Připojení hadice ke vzduchovacímu kamenu



Obr. XI Připojení k napájecímu zdroji

## Příloha 2 Kód řídicího programu

```
//----- DEKLARACE A DEFINICE -----
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// #include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// #include <avr/sleep.h> // umožňuje arduinu sleep mode

// definice názvu pinu
#define buzz 2 // bzučák
#define heat 3 // topení
#define vent 9 // ventilátor
#define pump 10 // probublavací motorek
#define btnNext 5 // tlačítko start/potvrdit
#define btnBack 6 // tlačítko stop/zrušit
#define btnPlus 4 // tlačítko +
#define btnMinus 7 // tlačítko -
int lastBtnNext;
int lastBtnBack;
int lastBtnPlus;
int lastBtnMinus;
// #define sensor 12 // teplotní senzor
#define lcdAddr 0x27 // I2C adresa lcd
#define lcdRows 4 // počet radku lcd
#define lcdCols 20 // počet sloupce lcd
LiquidCrystal_I2C lcd(lcdAddr, lcdCols, lcdRows); // vytvoření instance
// lcd z knihovny LiquidCrystal_I2C
// definice konstant
const int pinCidlaDS = 12;
#define DEFAULT_TEMP 45
#define DEFAULT_TIME 300000
const float TIME_STEP = 30000;
// definice proměnných
long previousMillis = 0;
long lastMillis = 0;
float requiredTemp = DEFAULT_TEMP;
float requiredTime = DEFAULT_TIME;
boolean change = true;
float actualTemperature;
float timer;
OneWire oneWireDS(pinCidlaDS);
DallasTemperature temperatureSensor(&oneWireDS);
long pocatek;
long konec;
long rozdíl;
int step = 0;
void welcome();
void heating();
void setup()
{
    requiredTemp = DEFAULT_TEMP;
    requiredTime = DEFAULT_TIME;
    Serial.begin(9600); // inicializace komunikace přes seriovou linku
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    lcd.clear(); // vycištění lcd
    lcd.backlight(); // zapnutí podsvícení lcd
    temperatureSensor.begin(); // inicializace komunikace cidla s knihovnou
    pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // vypnutí ledky na desce
    // inicializace pinu podle definovaných názvů
    pinMode(pump, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(pump, LOW);
pinMode(heat, OUTPUT);
digitalWrite(heat, LOW);
pinMode(vent, OUTPUT);
digitalWrite(vent, LOW);
pinMode(buzz, OUTPUT);
digitalWrite(buzz, LOW);
pinMode(btnNext, INPUT_PULLUP);
pinMode(btnBack, INPUT_PULLUP);
pinMode(btnPlus, INPUT_PULLUP);
pinMode(btnMinus, INPUT_PULLUP);
//currentTemp = temperatureSenzor.getTempCByIndex(0);
welcome();
}
//----- LOOP -----
void loop()
{
  //pocatek = micros();
  //Serial.println(pocatek);
  if (millis() - previousMillis > 1000)
  { previousMillis = millis();
    temperatureSenzor.requestTemperatures();

    actualTemperature = temperatureSenzor.getTempCByIndex(0);
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print(" Teplota:");
    lcd.print(actualTemperature);
    lcd.print(" C ");
    Serial.println(actualTemperature);

    if ( step == 2 || step == 3)
    {
      if (actualTemperature < requiredTemp - 1)
      {
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print(" Topeni zapnuto");
        digitalWrite(heat, HIGH);

      }
      else if (actualTemperature > requiredTemp + 1)
      {
        lcd.setCursor(0, 2);
        lcd.print(" Topeni vypnuto");
        digitalWrite(heat, LOW);
      }
    }
  }
  int actualBtnNext = digitalRead(btnNext);
  if (actualBtnNext != lastBtnNext && actualBtnNext == 0)

  {
    step++;
    Serial.println("next");
    if (step == 2)
    {
      lcd.setCursor(0, 2);
      lcd.print(" Topeni vypnuto");
      ///Serial.println("netopim");
    }
    if (step == 3)
    {
      timer = requiredTime;
    }
  }
}
```



```
    if (step > 3)
    {
        step = 3;
    }
    change = true;
}
lastBtnNext = actualBtnNext;

int actualBtnBack = digitalRead(btnBack);
if (actualBtnBack != lastBtnBack && actualBtnBack == 0)
{
    //Serial.println("back");
    if (step == 2)
    {
        step--;
    }
    if (step == 3)
    {
        end();
        step = 1;
    }
    step--;
    if (step < 0)
    {
        step = 0;
    }
    change = true;
}
lastBtnBack = actualBtnBack;

switch (step)
{
    case 0:
        chooseTemp();
        break;
    case 1:
        preheat();
        break;
    case 2:
        chooseTime();
        break;
    case 3:
        heating();
        break;
}
//konec = micros();
//rozdil = konec - pocatek;
//Serial.println(rozdil);
//Serial.println(konec);
//delay(5000);
}
void welcome()
{
    //privitani na displeji

    lcd.setCursor(0, 0);
    String Pozdrav = "   Leptani DPS   ";
    lcd.print(Pozdrav);
    delay(5000);
}
void chooseTemp ()
{
    int actualBtnPlus = digitalRead(btnPlus);
```

```
if (actualBtnPlus != lastBtnPlus && actualBtnPlus == 0)
{
    //Serial.println("plus");
    requiredTemp += 1;
    change = true;
}
lastBtnPlus = actualBtnPlus;
int actualBtnMinus = digitalRead(btnMinus);
if (actualBtnMinus != lastBtnMinus && actualBtnMinus == 0)
{
    //Serial.println("minus");
    requiredTemp -= 1;
    change = true;
}
lastBtnMinus = actualBtnMinus;
if (change)
{
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("  Zvolte teplotu  ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" Zvol. tepl.: ");
    lcd.print(requiredTemp);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" Topení vypnuto");
    digitalWrite(heat, LOW);
    digitalWrite(pump, LOW);
    digitalWrite(vent, LOW);
    //Serial.println(requiredTemp);
}
change = false;
}

void chooseTime ()
{
    int actualBtnPlus = digitalRead(btnPlus);
    if (actualBtnPlus != lastBtnPlus && actualBtnPlus == 0)
    {
        //Serial.println("plus");
        requiredTime += TIME_STEP;
        change = true;
    }
    lastBtnPlus = actualBtnPlus;
    int actualBtnMinus = digitalRead(btnMinus);
    if (actualBtnMinus != lastBtnMinus && actualBtnMinus == 0)
    {
        //Serial.println("minus");
        requiredTime -= TIME_STEP;
        change = true;
    }
    lastBtnMinus = actualBtnMinus;
    if (change)
    {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("  Zvolte čas  ");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Zvoleny cas: ");
        timePrintMillis(requiredTime);
        lcd.print(" ");
        digitalWrite(pump, LOW);
        digitalWrite(vent, LOW);
    }
    change = false;
}
```

```
void preheat ()
{
  if (actualTemperature < requiredTemp)
  {
    //Serial.println(" Topim ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Probiha predehrev ");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" Topeni zapnuto");
    digitalWrite(heat, HIGH);
    digitalWrite(pump, HIGH);
    digitalWrite(vent, HIGH);
    digitalWrite(buzz, LOW);
  }
  else
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" Predehrev ukoncen ");
    digitalWrite(pump, LOW);
    digitalWrite(vent, HIGH);
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(buzz, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(buzz, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(buzz, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(buzz, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(buzz, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(buzz, LOW);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print(" Topeni vypnuto");
    step++;
  }
}

void heating()
{
  if (millis() - lastMillis > 1000)
  {
    lastMillis = millis();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Probiha leptani ");
    timer -= 1000;
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" Zbyva: ");
    digitalWrite(vent, HIGH);
    digitalWrite(pump, HIGH);
    timePrintMillis(timer);
    if (timer <= 0)
    {
      end();
      step = 0;
    }
  }
}

void timePrintMillis (float time)
{
  int minutes = time / 60000;
```

```
int seconds = (time - minutes * 60000) / 1000;
lcd.print(minutes);
lcd.print("min");
lcd.print(seconds);
lcd.print("s ");
}
void end()
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Konec po: ");
  timePrintMillis(requiredTime - timer);
  digitalWrite(pump, LOW);
  digitalWrite(heat, LOW);
  digitalWrite(vent, LOW);
  digitalWrite(buzz, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(buzz, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(buzz, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(buzz, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(buzz, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(buzz, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(buzz, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(buzz, LOW);
  digitalWrite(vent, LOW);
  delay(2000);
}
```

### Příloha 3 Seznam použitých součástek

Počet	Prvek	Odkaz
1	Arduino Nano	<a href="https://www.gme.cz/klon-arduino-nano-v3-0-r3-ch340g">https://www.gme.cz/klon-arduino-nano-v3-0-r3-ch340g</a>
1	Regulátor napětí LM2576HVT	<a href="https://www.gme.cz/lm2576hvt-12-to220-5-texas-instruments">https://www.gme.cz/lm2576hvt-12-to220-5-texas-instruments</a>
1	LCD 20x4 s I2C měničem	<a href="https://www.gme.cz/lcd-i2c-display-20x4">https://www.gme.cz/lcd-i2c-display-20x4</a>
1	Stabilizátor napětí 7805CV	<a href="https://www.gme.cz/stabilizator-pevneho-napeti-st-microelectronics-thomson-7805cv-stm">https://www.gme.cz/stabilizator-pevneho-napeti-st-microelectronics-thomson-7805cv-stm</a>
1	Stabilizátor napětí 7809- STM	<a href="https://www.gme.cz/stabilizator-pevneho-napeti-st-microelectronics-thomson-7809-stm">https://www.gme.cz/stabilizator-pevneho-napeti-st-microelectronics-thomson-7809-stm</a>
2	NPN tranzistor MPSA06 TO92	<a href="https://www.gme.cz/bipolarni-tranzistor-mps06-to92-diode">https://www.gme.cz/bipolarni-tranzistor-mps06-to92-diode</a>
2	Darlingtonův tranzistor TIP122	<a href="https://www.gme.cz/darlingtonuv-tranzistor-tip122-to220">https://www.gme.cz/darlingtonuv-tranzistor-tip122-to220</a>
1	Unipolární tranzistor IRF530 TO220AB	<a href="https://www.gme.cz/unipolarni-tranzistor-irf530-to220ab">https://www.gme.cz/unipolarni-tranzistor-irf530-to220ab</a>
5	Svorkovnice ARK500/2	<a href="https://www.gme.cz/ark500-2-b">https://www.gme.cz/ark500-2-b</a>
1	Svorkovnice ARK500/3	<a href="https://www.gme.cz/svorkovnice-sroubovaci-do-dps-ark500-3ex">https://www.gme.cz/svorkovnice-sroubovaci-do-dps-ark500-3ex</a>
3	LED	<a href="https://www.gme.cz/led-5mm-green-30-50-bl-b2134-1">https://www.gme.cz/led-5mm-green-30-50-bl-b2134-1</a>
1	Zenerova dioda 1N5339B	<a href="https://www.gme.cz/zenerova-dioda-1n5339b">https://www.gme.cz/zenerova-dioda-1n5339b</a>
1	Schottkyho dioda 1N5819	<a href="https://www.gme.cz/1n5819">https://www.gme.cz/1n5819</a>
4	Tlačítko	<a href="https://www.gme.cz/p-pb11-red">https://www.gme.cz/p-pb11-red</a>
1	Cívka 100uH	<a href="https://arduino-shop.cz/arduino/1166-tlumivka-100uh-6a-toroid.html">https://arduino-shop.cz/arduino/1166-tlumivka-100uh-6a-toroid.html</a>
1	Bzučák KST 3612	<a href="https://www.gme.cz/bzucak-kst-3612">https://www.gme.cz/bzucak-kst-3612</a>
Kondenzátory		
1	100uF elektrolytický	<a href="https://www.gme.cz/ce-100u-63v-jam-sk-10x13-rm5-bulk">https://www.gme.cz/ce-100u-63v-jam-sk-10x13-rm5-bulk</a>
1	1000 uF elektrolytický	<a href="https://www.gme.cz/ce-1000u-63v-jam-sk-10x13-rm5-bulk">https://www.gme.cz/ce-1000u-63v-jam-sk-10x13-rm5-bulk</a>
4	8,2pF keramický	<a href="https://www.gme.cz/ck-8-2p-500v-npo-rm5-08-5">https://www.gme.cz/ck-8-2p-500v-npo-rm5-08-5</a>

Počet	Prvek	Odkaz
Rezistory		<a href="https://arduino-shop.cz/arduino/1082-balení-rezistoru-30-druhu-celkem-600-kusu.html">https://arduino-shop.cz/arduino/1082-balení-rezistoru-30-druhu-celkem-600-kusu.html</a>
1	4,7kΩ	
3	10kΩ	
5	1kΩ	
Konektory		
2	XT90 zásuvka	<a href="https://www.gme.cz/konektor-xt90-zasuvka">https://www.gme.cz/konektor-xt90-zasuvka</a>
2	XT90 vidlice	<a href="https://www.gme.cz/konektor-xt90-vidlice">https://www.gme.cz/konektor-xt90-vidlice</a>
1	DS-225A zásuvka do panelu	<a href="https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-ds-225a">https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-ds-225a</a>
1	NP-326A zásuvka na kabel	<a href="https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-np-326a">https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-np-326a</a>
2	DCI HS25 vidlice	<a href="https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-dci-hs25">https://www.gme.cz/napajeci-souosy-konektor-dci-hs25</a>
1	Jack 3,5 mm zásuvka	<a href="https://www.gme.cz/konektor-jack-3-5-stereo-jc-204s">https://www.gme.cz/konektor-jack-3-5-stereo-jc-204s</a>
1	Jack 3,5 mm vidlice	<a href="https://www.gme.cz/konektor-jack-3-5-stereo-vidlice-scp-2004t">https://www.gme.cz/konektor-jack-3-5-stereo-vidlice-scp-2004t</a>
1	Ventilátor SUNON PE60251BX-A99	<a href="https://www.gme.cz/ventilator-sunon-pe60251bx-a99">https://www.gme.cz/ventilator-sunon-pe60251bx-a99</a>
1	Vzduchovací motorek PYP370	<a href="https://www.aliexpress.com/item/1pc-PYP370-Micro-DC-24V-air-pump-DC-vacuum-metering-pump/32653317987.html">https://www.aliexpress.com/item/1pc-PYP370-Micro-DC-24V-air-pump-DC-vacuum-metering-pump/32653317987.html</a>
1	Krabička plastová KP12	<a href="https://www.gme.cz/krabicka-plastova-kp12-z-1w">https://www.gme.cz/krabicka-plastova-kp12-z-1w</a>

## **Příloha 4 Přílohy na CD**

Obsah přiloženého CD:

- složka *Bakalářská práce*
  - soubor *Bakalářská práce Mateusz Łuński (.pdf)*
- složka *Podpůrné programy*
  - složka *3D model zařízení*
  - složka *Program Arduino IDE*
  - složka *Návrh elektrického obvodu*
- složka *Video*
  - soubor *Leptací zařízení (.mp4)*